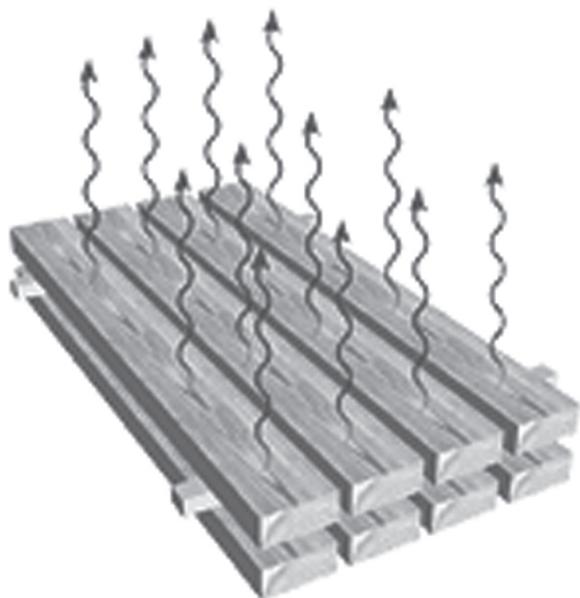
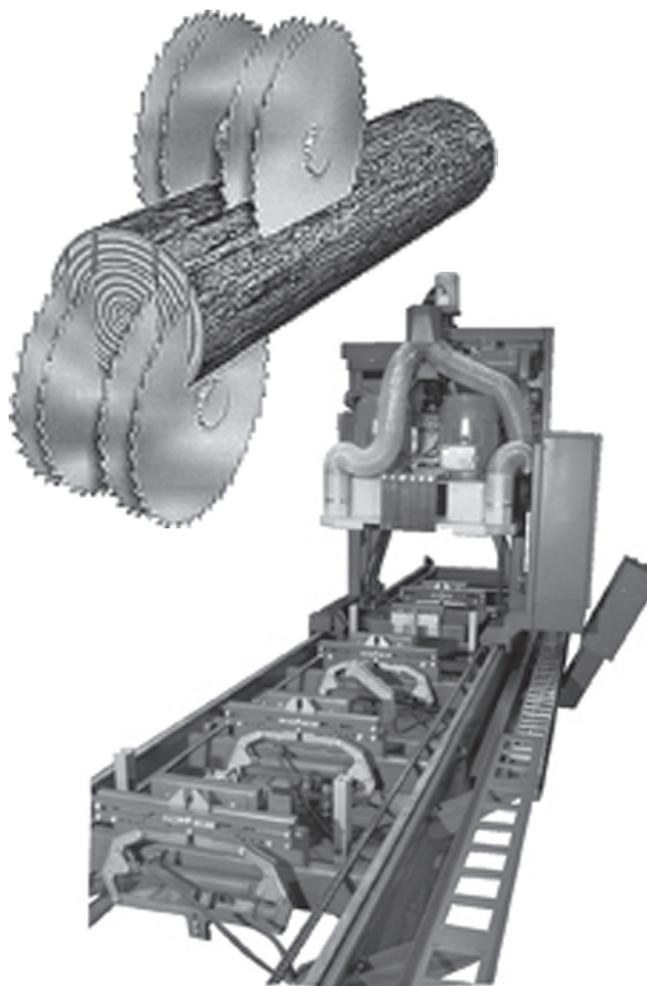


*Вестник Московского государственного университета леса*

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

2007 № 4 (53)

ISSN 1727-3749



## В ЧЮМЕРЕ

- *Направления лесных исследований: состояние и перспективы*
- *Сохранение, восстановление и повышение продуктивности ресурсов ягодников*
- *К вопросу о деградации порослевых дубрав Центрального Черноземья*
- *Перспективы развития урболесоведения в России*
- *Повышение долговечности и водостойкости древесины*
- *О прогнозировании прочности и деформации древесно-цементных материалов*
- *Глобальная сеть космического мониторинга леса*
- *Достоверность оценки технического состояния электронных систем*

## СОДЕРЖАНИЕ

### Лесное хозяйство

Шалаев В.С.	<i>Направления лесных исследований: состояние и перспективы</i>	4
Обыденников В.И., Войтюк М.М.	<i>Сохранение, восстановление и повышение продуктивности ресурсов ягодников в связи с рубками главного промежуточного пользования</i>	6
Обыденников В.И., Кузнецов М.Е., Разживин В.А.	<i>Типологические аспекты исследований динамики леса в связи с рубками главного пользования</i>	15
Вайс А.А.	<i>Многоугольная выборка в смешанных насаждениях</i>	21
Вайс А.А.	<i>Динамика процессов роста и отпада деревьев в пихтовых насаждениях южной части Средней тайги</i>	24
Харченко Н.А., Харченко Н.Н.	<i>К вопросу о деградации порослевых дубрав Центрального Черноземья</i>	29
Угрюмов Б.И., Даниленко О.К.	<i>Прогноз изменения древесной растительности под влиянием затопления ложа Богучанского водохранилища</i>	32
Карасева М.А., Лежнин К.Т., Маторкин А.А.	<i>Влияние фитомелиорантов на рост и устойчивость культур сосны обыкновенной и лиственницы сибирской в Среднем Поволжье</i>	38
Балухта Л.П.	<i>Комплексный уход и подлесочная растительность в сосняках свежих</i>	42
Рысин Л.П., Рысин С.Л.	<i>Перспективы развития урболесоведения в России</i>	45
Левицкая И.В., Самошкин Е.Н.	<i>Жизнеспособность пыльцы и семян разных видов рода <i>Spigeeae</i> в юго-западном регионе РФ</i>	50
Плакса С.А.	<i>Заяц-русак в Дагестане</i>	53
Скрыпникова Е.Б.	<i>Методы добывания корма птицами в условиях урбанизированных территорий</i>	59
Мигунова Е.С.	<i>Этапы развития Морозовской школы лесной типологии</i>	60
<b>Экономика</b>		
Меньшикова М.А.	<i>Оценка эффективности аудита расчетов по оплате труда работников лесопромышленных предприятий</i>	68
Хашир Б.О.	<i>Инвестиционные аспекты регионального использования недревесных продуктов леса</i>	71
Кислухина И.А.	<i>История развития лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа – Югры</i>	76
<b>Деревообработка</b>		
Киселева О.А., Ярцев В.П.	<i>Повышение долговечности и водостойкости древесины</i>	84
Абразумов В.В., Морозов А.В.	<i>Влияние режимов резания на температуру контактных поверхностей резца при обработке композиционных материалов из древесины</i>	87
Попов В.М., Иванов А.В.	<i>Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности</i>	89
Костюкевич Н.Н.	<i>К вопросу об углубленной переработке древесного сырья в цехах лесозаготовительных предприятий</i>	91
<b>Лесинженерное дело</b>		
Нахаев З.Н., Сушков А.С.	<i>Совершенствование грузопотоков лесопroduкции при рубках промежуточного пользования</i>	94
Рукомойников К.П.	<i>Обоснование методики расчета основных технологических параметров освоения квартала</i>	96
Иванов Г.А.	<i>Моделирование пачки (воза) хлыстов деревьев, перемещаемых за вершины в полуподвешенном состоянии расчетным хлыстом</i>	102
Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н.	<i>Экспериментальные исследования тормозной динамики лесовозных автопоездов</i>	105

Тарасов Е.А.	<i>Сравнительная оценка эффективности рекуперативных систем лесного почвообрабатывающего агрегата</i>	107
Мошкин Н.И.	<i>Автоматизация процессов измерения и регистрации выходных характеристик электронных систем зажигания двигателей внутреннего сгорания с целью их диагностирования</i>	111
Климушев Н.К.	<i>Имитационное моделирование неравномерности лесозаготовительного производства</i>	114
<b>Химические технологии</b>		
Азаров В.И., Кононов Г.Н., Дроздова В.С.	<i>Исследование свойств бумаги с поверхностной обработкой</i>	117
Тарасов С.М.	<i>Влияние различных видов катионных крахмалов на свойства бумажно-картонных материалов из вторичного волокнистого сырья</i>	120
Рябков В.М., Смирнов Д.С.	<i>Анализ погрешности весового порционного дозирования компонентов при приготовлении связующего в производстве древесных плит</i>	123
Запруднов В.И.	<i>О прогнозировании прочности и деформации древесно-цементных материалов</i>	126
Медведев И.Н.	<i>Модифицирование натуральной и фаутной древесины мягких пород соединениями формальдегида и карбамида</i>	129
<b>Математическое моделирование</b>		
Домрачев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г., Антошина И.В.	<i>Разработка системы характеристик качества образовательных информационных ресурсов и шкал для их оценивания</i>	131
Бунаков П.Ю., Стариков А.В., Харин В.Н.	<i>Расчет интегрального коэффициента технологичности и оценка качества проектируемых изделий в комплексной САПР корпусной мебели</i>	137
Шако О.И.	<i>Анализ алгоритмов сортирования и классифицирования пиловочного сырья</i>	142
Зеликов В.А.	<i>Анализ теоретических подходов математического моделирования динамики транспортных потоков</i>	148
Корольков А.В.	<i>Анализ параметров сложной гидродинамической системы при управляющем воздействии внешних факторов</i>	151
Степанов И.М.	<i>Оценка надежности комплекса технических и программных средств системы реального времени на различных стадиях жизненного цикла при четких и нечетких условиях</i>	155
Степанов И.М.	<i>Глобальная сеть космического мониторинга леса</i>	157
Воробьева Г.И., Седова Т.Л.	<i>Технологии определения рейтингов порталов</i>	161
Фомичев Н.В.	<i>Признаки, определяемые свойствами линейных полугрупповых преобразований</i>	164
Фомичев Н.В.	<i>Признаки, определяемые свойствами треугольно-ступенчатных подстановок векторного пространства</i>	166
Домрачев В.Г., Исаев В.М.	<i>О надежности источников вторичного электропитания аппаратуры специального назначения</i>	167
Лесин Н.И.	<i>Достоверность оценки технического состояния электронных систем</i>	172
Ретинский В.С.	<i>Воспроизведение параметров неустановившихся режимов работы сетей с распределенными параметрами</i>	174
Боцула А.А.	<i>Математические методы кластеризации в обработке трассы tri-программ</i>	177
Антонец А.В.	<i>Систематизация решений типовых краевых задач для уравнений математической физики в виде рядов Фурье</i>	180
Зверев Н.В.	<i>Фермионный детерминант модели нейтрино на конечной решетке пространства-времени</i>	184
Царева Т.Н.	<i>Аналитический обзор методов оценивания качества интернет-сайтов</i>	190

## НАПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, проректор по международным связям*

Наиболее авторитетная организация в мировом лесном научном сообществе – Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), организованный в 1892 г. и объединяющий в настоящее время более 15 тыс. ученых из 700 организаций и учреждений из 115 стран. Буквально перед проведением XXII Мирового конгресса ИЮФРО в Брисбене (Австралия) в 2005 г. было проведено анкетирование-опрос среди организаций-членов и функционеров ИЮФРО.

Содержательная часть ответов позволила сформулировать основные направления исследований, которые преобладали в мировом лесном сообществе 10 лет назад: *загрязнение атмосферы; биоразнообразие; усыхание лесов; лесные процессы (техника и технологии); генетика; устойчивое ведение лесного хозяйства и сертификация; качество древесины.*

При этом необходимо отметить определенные изменения за прошедший период, и в настоящее время направления лесных исследований выглядят следующим образом: *сельское и лесное хозяйство; изменения климата; углеродный баланс (связывание углерода); лесовосстановление; плантационное лесное хозяйство; политика и государственное управление; комплексное использование древесины и недревесных ресурсов и полезностей; потребление древесины.*

Совокупность ответов позволила также сформулировать будущие исследовательские приоритеты, перспективные направления лесных исследований: *адаптация лесов к изменениям климата; биотехнологии; леса и ландшафт (их восстановление); леса и вода; генетически модифицированные объекты; снижение ущерба от лесозаготовок; рекреация и оценка недревесных ресурсов и полезностей; социальные аспекты (включая пол, условия работы в лесу, коммуникации).*

Несомненна очевидность эволюционной переориентации основных направлений лесных исследований с технических на экологические проблемы. Определенно усиливаются социальные направления. Очевидно, эти тенденции могут быть объяснены глобализацией проблем, возни-

кающих перед человечеством. Лесные исследования, исследования проблем леса, который является одним из основных составляющих глобальной системы жизнеобеспечения, естественно отражают решения возникающих в мире проблем.

Интересны в этом случае тенденции исследований, заложенные в только что начавшейся семилетней (2007–2013 гг.) Седьмой рамочной программе Европейского союза FP7 с весьма существенным объемом финансирования. Подобные программы работают в Евросоюзе с 1884 г., такая форма проведения совместных исследований была предложена Европейской комиссией, принята Евросоветом и Европейским парламентом в результате общего голосования.

Основной особенностью этой европейской программы является структурная организация тематических приоритетов в технологические платформы. Термин «технологические платформы» был предложен Еврокомиссией еще в 2004 г. для обозначения тематических направлений, в рамках которых были сформулированы приоритеты развития Евросоюза. А главной особенностью европейских технологических платформ можно считать их формирование как результат потребностей производства. Это фактически заказ на проведение научно-технологических работ для достижения целей и стратегии устойчивого и ресурсно-возобновляемого современного общества.

В том же 2004 г. началась работа по созданию Лесной технологической платформы (Forest-based sector Technology Platform – FTP), которая нацелена на объединение представителей всех отраслей лесного комплекса Евросоюза и научно-исследовательского сообщества европейских университетов и исследовательских центров. В рамках работы FTP были сформулированы основные направления исследований – Strategic Research Agenda (таблица).

Из 29 технологических платформ, функционирующих в рамках FP7, возможно привести те из них, которые наиболее связаны с Лесной технологической платформой:

- насаждения для будущего;
- устойчивое развитие химического производства;

**Стратегические направления научных исследований (Strategic Research Agenda)**

Звенья лесной технологической платформы				
Лесное хозяйство	Деревообработка	Целлюлозно-бумажная промышленность	Биоэнергетика	Высокотехнологичные производства
1. Создание инновационных продуктов на рынке в условиях изменяющихся запросов потребителей				
1-6. Развитие использования древесины мягколиственных пород	1-1. Новое поколение многофункционального упаковочного материала 1-4. Продукция из древесины для жизнеобеспечения 1-5. Деревянное домостроение 1-10. Новое поколение композиционных материалов	1-1. Новое поколение многофункциональной упаковки 1-2. Бумага как неотъемлемая часть образования, обучения и взаимодействий 1-3. Передовые технологии создания санитарно-гигиенических продуктов 1-8. Целлюлоза, энергия и химические соединения при переработке древесины 1-10. Новое поколение композиционных материалов	1-7. Развитие использования биотоплива в Европе 1-8. Целлюлоза, энергия и химические соединения при переработке древесины	1-8. Целлюлоза, энергия и химические соединения при переработке древесины 1-9. Экологически чистые химические соединения 1-10. Новое поколение композиционных материалов
2. Создание и развитие наукоемких и эффективных производственных процессов, основанных на снижении затрат сырья и энергии				
	2-4. Передовые технологии первичной деревообработки 2-5. Новые технологии продукции из древесины	2-1. Разработка технологий древесноволокнистой продукции нового поколения 2-2. Увеличение эффективности производства бумажной продукции при снижении затрат 2-3. Снижение потребления энергии в целлюлозно-бумажной промышленности	2-3. Снижение потребления энергии в целлюлозно-бумажной промышленности 2-6. Энергоэффективные технологии при производстве тепла и энергии	
3. Увеличение возможности и целесообразности использования древесной биомассы для производства продукции и выработки энергии				
3-1. Леса для будущего 3-2. Индивидуальный подход при производстве продукции лесного хозяйства	3-2. Индивидуальный подход при производстве продукции деревообработки 3-4. Переработка древесной продукции – новый материальный ресурс	3-2. Индивидуальный подход при производстве продукции целлюлозно-бумажной промышленности 3-3. Использование новых технологий переработки бумаги	3-2. Индивидуальный подход при производстве продукции биоэнергетики	3-2. Индивидуальный подход по созданию предложения продукции лесного хозяйства
4. Удовлетворение растущего спроса на лесные ресурсы и устойчивое управление лесным хозяйством				
4-1. Леса для разнообразных потребностей 4-2. Использование передовых знаний в лесных экосистемах 4-3. Адаптация лесного хозяйства к изменениям климата				
5. Социальные аспекты и перспективы				
5-1. Оценка возможностей сектора в целом 5-2. Инструментарий для рационального управления лесным сектором 5-3. Гражданское восприятие				

- поддержание здоровья животного мира;
- продукты питания для будущего;
- водообеспечение и очистка воды;
- альтернативная энергетика (без парниковых газов);
- развитие биоэнергетики.

Таким образом, сформулированные мировым лесным сообществом (ИЮФРО) направления фундаментальной науки, а Евросоюзом – направления, более ориентированные на потребителя, следует учитывать при планировании отечественных лесных исследований, особенно во все значительнее развивающемся процессе

интеграции российской науки в мировое научное пространство.

Статья публикуется по итогам выступления-презентации автора на научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов по итогам 2006 года.

**Библиографический список**

1. Материалы презентации доктора Питера Майера на XXII Всемирном конгрессе ИЮФРО, 8–13 августа 2005, Брисбен, Австралия.
2. <http://www.cordis.lu/focus>.
3. <http://www.forestplatform.org>.

## СОХРАНЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ РЕСУРСОВ ЯГОДНИКОВ В СВЯЗИ С РУБКАМИ ГЛАВНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В.И. ОБЫДЕННИКОВ, *проф. каф. лесоводства и подсосочки леса МГУЛ, д-р с.-х. наук,*  
М.М. ВОЙТЮК, *ФГНУ «Росинфорагротех», канд. с.-х. наук*

Лесоводственные рубки разработаны исходя из биогеоэкологической, экосистемной сущности леса и многоцелевого его значения. Поэтому они направлены на использование и восстановление разнообразных продуктов и полезных лесов [3]:

- древесины (главного продукта леса) и ее производных;
- других продуктов из древесных растений (коры, листы, хвои, плодов и семян);
- продуктов из лесных недревесных растений (ягод, грибов, лекарственных растений);
- природных защитных свойств леса и природной среды, в целом благоприятной для жизни человека;
- природных свойств леса, создающих благоприятные местообитания для животных.

Достойное место среди них занимают продукты из дикорастущих ягодников. Значение их (и прежде всего черники, брусники) многогранно. Многие виды дикорастущих ягодников как составной части лесных формаций являются важнейшими индикаторами условий местообитания, благотворно влияют на возобновление древесных пород, имеют большое пищевое и лекарственное значение. Брусника и черника для ряда растительных формаций (сосновой, еловой и др.) служат вполне надежным критерием для выделения типов леса, а брусника – типов вырубков. Общеизвестны пищевые лекарственные значения дикорастущих ягодников (черники, брусники и др.). В частности, листья брусники находят широкое применение в качестве лекарственного сырья, а ягоды являются источником целого ряда активных веществ и микроэлементов, необходимых для жизнедеятельности человека.

В связи с изменением в последний период спроса на разные виды продуктов (в том числе ягод черники и брусники) и полезных лесов возрос научный и практический интерес лесоводов к проблеме восстановления и повышения продуктивности дикорастущих ягодников после рубок. Особенно актуальным стало решение таких вопросов, как определение характера влияния рубок

главного и промежуточного пользования на возобновление и формирование дикорастущих ягодников; разработка мероприятий по одновременному выращиванию высокопродуктивных древостоев и дикорастущих ягодников; выбор мер, направленных на устранение или сведение к минимуму негативного влияния применяемой техники при рубках на состояние и развитие ягодников.

Применяемые рубки в лесах нашей страны принято объединять в три большие группы: рубки главного пользования, ухода (или промежуточного пользования) и комплексные. В практике хозяйства государственных и сельских лесов России рубки, специально направленные на возобновление, формирование ягодников (прежде всего черники и брусники) и повышение их урожайности, почти не применяются. Такие рубки, как правило, проводятся в опытном порядке и в научных целях.

Приведем анализ лесоводственной эффективности каждого способа и вида рубок леса на лесосеках, занятых черникой и брусникой. Оценка состояния ягодников в связи с рубками осуществляется путем сравнения реального изменения их покрова (и урожая ягод) с эталонными (промысловыми) урожаями или же с начальным (до проведения рубок) их состоянием (проектным покрытием, встречаемостью). Реальные изменения покрова и урожайности ягодников в связи с рубками определяются типом леса (составом, полнотой древостоя, характером возобновления древесных пород, почвенными условиями, состоянием покрова ягодников и т.д.) и зависят от способа рубки, системы машин и технологии лесосечных работ. Характер формирования покрова ягодников в значительной мере определяется их биологией и экологией.

Дикорастущие заросли черники и брусники в условиях южнотаежной подзоны и зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов европейской части России приурочены большей частью к черничным и брусничным группам типов леса разных формаций (еловой, сосновой, березовой, осиновой и др.). Урожайность черники и

брусники прежде всего связана с эколого-географическими условиями, с возрастом, с полнотой (сомкнутостью полога) древостоя и успешностью возобновления древесных пород. Довольно высокие урожаи черники наблюдаются в сосняках сфагновых и чернично-долгомошных (Костромская обл.) и ельниках черничных влажных (Ленинградская обл.) [7, 8].

Черника хорошо развивается и плодоносит на почвах глинистых, суглинистых и супесчаных свежих и влажных. Оптимальные световые условия для роста черники в лесу складываются обычно при сомкнутости древесного полога 0,6–0,7. На урожайность ягод черники оказывают влияние возраст и полнота древостоя (или сомкнутость его полога). Наибольшая урожайность черники в лесах Рязанской и Тверской областей достигается в 40–60 и 80–100 лет [6]. Урожай черники в сосняках этой группы типов намного выше в Рязанской области по сравнению с Тверской. Оптимальная световая обстановка для ее плодоношения здесь наблюдается при полноте соснового древостоя 0,5–0,7 [6].

Наиболее урожайными для черники в южной тайге (Костромская обл.) являются сосняки сфагновые и чернично-долгомошные. Заросли черники, имеющие стабильные промышленные урожаи (выше 100 кг/га), встречаются в насаждениях с древостоем березы старше 40 лет, сосны – старше 50, ели – старше 60 лет [6]. Для оптимального развития покрова черники требуется меньше света, чем для ее плодоношения. Так, успешное развитие покрова черники проходит при сомкнутости древесного полога 0,6–0,7.

Важное значение для рационального использования и своевременного и полноценного восстановления ягодников в связи с рубками имеют критерии для выделения промысловых угодий (табл. 1).

Биологические и экологические свойства брусники и черники имеют существенные различия. Брусника хорошо развивается и плодоносит на почвах менее плодородных (по сравнению с черникой) и с более легким механическим их составом (суглинистых, супесчаных и песчаных), свежих и сухих. Оптимальными световыми условиями для брусники являются такие, которые складываются при сомкнутости древесного полога 0,3–0,4. Брусника удовлетворительно развивается и плодоносит и на открытых местах.

Для выделения промысловых угодий брусники приняты следующие критерии (табл. 2).

На промысловых угодьях ягодников (черники и брусники) целесообразно производить рубки по технологиям, предусматривающим их сохранность.

Для практического лесоводства необходимо иметь всесторонние сведения о реальных изменениях дикорастущих ягодников в связи с разными способами и видами рубок. Особую ценность они представляют не только на отдельных этапах формирования леса после рубки, но и за полный цикл развития. Обладая такой информацией, лесовод может принимать хозяйственно-целесообразные решения, направленные на своевременное использование позитивных результатов рубок и устранение или сведение к минимуму негативных последствий.

Т а б л и ц а 1

**Критерии для выделения промысловых угодий черники (южнотаежная подзона и зона смешанных лесов европейской части России)**

Группы типов леса (или основные типы)	Преобладающая порода	Возраст древостоя, лет	Сомкнутость		Встречаемость черники, %	Проективное покрытие черники, %
			древесного полога	полога, подлеска и подроста		
Ельники черничные (свежие и влажные)	Ель	Меньше 50	0,6	0,2	80	30
Сосняки черничные а) коренные типы леса (чернично-сфагновый, чернично-долгомошный и др.) б) производные типы леса (березняк чернично-мелкотравный, в) осинник чернично-мелкотравный и близкие к ним типы леса)	Сосна	Не менее 40	0,7	0,1	80	30
	Береза	Не менее 40	0,7	–	80	30
	Осина	Не менее 40	0,8	–	80	30

**Критерии для выделения промысловых угодий брусники (подзона южной тайги и зона смешанных лесов европейской части России)**

Группы типов леса (или основные типы)	Преобладающая порода	Возраст древостоя, лет	Сомкнутость		Встречаемость черники, %	Проективное покрытие черники, %
			древесного полога	полога, подростка и подростка		
Сосняки лишайниково-брусничный, брусничный и бруснично-долгомошный	Сосна	Не менее 40	0,4	0,1	80	15
Вырубки с неудовлетворительным возобновлением древесных пород и несомкнувшимся молодняком (на месте брусничных и близких к ним типов леса)	Сосна	3–15	–	–	70	15

Разные способы рубок главного пользования (сплошные, постепенные и выборочные) неодинаково влияют на сохранность нижних ярусов леса (в том числе и ягодников). Возобновление и восстановление ягодников идет в органической взаимосвязи с восстановлением всех компонентов леса (подроста, травянистой и другой растительности).

После сплошных рубок формирование леса (или его типа), определяющего развитие ягодников, происходит двумя путями. Для первого пути характерно образование начала «лесного этапа» или молодого поколения леса (минуя безлесную стадию – тип вырубки) [3]. Это возможно лишь при сохранении в процессе рубки достаточного количества подроста для полноценного восстановления леса (в том числе и ягодников). Важнейшим индикатором и эдикатором формирующегося типа леса здесь служит древостой. Образование леса по второму пути (т.е. через безлесный этап) происходит в случае, когда проводится рубка древостоя, под пологом которого отсутствует подрост, или же он имелся, но был уничтожен лесозаготовительной техникой. Для этого этапа (типа вырубки) индикатором и эдикатором лесорастительных условий служат преобладающие виды живого напочвенного покрова, в том числе и ягодников (в частности брусника).

Полное восстановление черники после сплошных рубок (на базе традиционной техники) в ельниках происходит через 40–50 лет, а устойчивого промыслового уровня (более 100 кг/га ягод) она достигает через 50–60 лет [7]. Ягодники черники достигают промыслового значения на вырубках с успешным возобновлением леса к 30–40-летнему возрасту древостоя. Продуктивные

ягодники в таких условиях образуются на пасаках через 30–35 лет, а на волоках – через 45 лет после рубки. Удовлетворительно происходит восстановление черники после рубки с использованием традиционных техники и технологии, обеспечивающих высокую сохранность подростка и ягодника. При этом применяются на валке леса бензопилы, на трелевке – трактора с тросовой оснасткой.

Существенное влияние на сохранность и возобновление ягодников при сплошных рубках оказывают применяемые агрегатные лесозаготовительные машины. Так, после работы агрегатных машин (ЛП-19 и ТБ-1) в ельнике свежем (Новгородская обл.) с применением первой технологии (дерева укладывались на волок) сохранилось 60 % подростка и покрова черники, почва повреждалась на 35 % площади лесосеки. Динамика покрова черники и основных видов живого напочвенного покрова после сплошной рубки (на базе агрегатной техники) приведена в табл. 3.

В первые годы после рубки снижение покрытия черники связано с изменением световой обстановки (усилением освещенности). Аналогичное влияние (за такой же период) агрегатная техника (ЛП-19 и ЛТ-157) при сплошных рубках (по той же технологии) оказывает и в условиях ельника черничного влажного (Новгородская обл.) (табл. 4). Затем положительное влияние на состояние покрова оказывает формирующийся молодняк [5].

Несомненный интерес для науки и практики представляют результаты исследований влияния способов рубок главного пользования и применяемой агрегатной лесозаготовительной техники на чернику на стационарном участке (зона смешанных лесов Русской равнины).

**Динамика черники и основных видов живого напочвенного покрова на сплошной вырубке (исходный тип леса – ельник черничный свежий)**

Название растения	Давность рубки, лет				
	2	4	6	8	15
	проективное покрытие, % встречаемость, %				
Черника	<u>16</u> 36	<u>10</u> 28	<u>9</u> 24	<u>10</u> 48	<u>4</u> 64
Осока волосистая	<u>4</u> 24	<u>7</u> 28	<u>8</u> 32	<u>3</u> 36	<u>2,4</u> 2
Вейник тростнико-видный (лесной)	<u>10</u> 32	<u>18</u> 44	<u>45</u> 48	<u>16</u> 48	<u>6</u> 60
Ситник развесистый	<u>17</u> 24	<u>18</u> 20	<u>17</u> 24	<u>6</u> 24	<u>0,4</u> 16

**Динамика черники и основных видов живого напочвенного покрова после сплошной рубки в ельнике черничном влажном**

Название растения	Давность рубки, лет						
	2	6	9	15	18	24	26
	проективное покрытие, % встречаемость, %						
Черника	<u>7</u> 36	<u>3</u> 32	<u>3,2</u> 44	<u>5</u> 66	<u>5,2</u> 68	<u>6,8</u> 78,7	<u>8,1</u> 85
Ситник развесистый	<u>15</u> 48	<u>9</u> 36	<u>5</u> 24	<u>1,4</u> 22	<u>0,4</u> 16	<u>0,1</u> 11	<u>0,1</u> 11
Осоки	<u>6</u> 36	<u>18</u> 44	<u>12</u> 28	<u>8</u> 24	<u>7,6</u> 30	<u>6,5</u> 42	<u>3,5</u> 59
Вейник ланцет	<u>5</u> 28	<u>8</u> 32	<u>27</u> 48	<u>6</u> 14	<u>5,3</u> 13	<u>2,3</u> 6	<u>0,1</u> 4
Щучка	<u>0,5</u> 8	<u>1</u> 12	<u>3</u> 16	<u>0,5</u> 12	<u>0,4</u> 12	<u>0,2</u> 12	<u>0,1</u> 12

Рубка проведена 12 лет назад на базе агрегатной техники (ЛП-19 и ЛТ-157) в ельнике черничном свежем (Московская обл., Щелковский район). Используются четыре технологии лесосечных работ (две технологии на сплошных рубках и две – на постепенных). Эти технологии обстоятельно рассмотрены ранее. Остановимся лишь на их принципиальных положениях.

Приведем сначала технологии, используемые на сплошных рубках, и их лесоводственно-экологические последствия. Согласно первой технологии (I вариант) валочно-пакетирующая машина ЛП-19 во время работы двигалась по лесосеке челночным способом. Она срезала деревья и укладывала их на свежую вырубку (под углом к волоку) комлями в сторону погрузочной площади. Трелевка леса осуществлялась машиной ЛТ-175. После работы машин по этой технологии подрост древесных пород и покров черники

почти полностью уничтожился (табл. 5, 6), почва повреждалась почти на 90 % площади лесосеки. Оставшаяся незначительная часть покрова черники (1,3 %) в течение 5 лет после рубки в условиях открытого места (т.е. полного освещения) полностью отмирает. Вырубка зарастает в основном злаковыми видами растительности. Так, на 12-летний вырубке преобладает вейник тростниковидный (около 25 %), щучка (более 10 %) и мятлик (в пределах 8 %). К этому времени образуется молодняк (численностью 2,6 тыс.шт./га) с явным преобладанием березы повислой (состав молодняка – 7Б1Е10с1Д).

Перед сплошной рубкой по второй технологии лесосечных работ (II вариант) производилась разубка объездного волока. Валочная машина ЛП-19 для разработки новой ленты (полосы леса шириной 15 м) каждый раз заезжала по объездному волоку.

**Сохранность подроста ели и минерализация почвы после разных способов рубок главного пользования и технологий лесосечных работ (исходный тип леса – ельник черничный свежий, Московская обл.)**

Вариант. Способы рубок. Технология лесосечных работ	Подрост ели, тыс. шт./га		Сохранность подроста, %	Минерализация почвы, %
	До рубки	После рубки		
I. Сплошная рубка. Валка деревьев под углом к волоку	9,5	0,85	8,9	88,0
II. Сплошная рубка. Валка деревьев с укладкой на волок	10,0	4,7	47,0	37,0
III. Постепенная чересполосная рубка	11,3	6,8	60,2	36,0
IV. Постепенная рубка с равномерной выборкой деревьев в пасаке	8,5	4,5	53,0	33,0

Т а б л и ц а 6

**Динамика покрова черники в результате рубок главного пользования (исходный тип леса – ельник черничный свежий, Московская обл.)**

Вариант. Способы рубок. Технология лесосечных работ	Единица измерения	До рубки	После рубки	С давностью рубки, лет		
				5	10	12
I. Сплошная рубка без сохранения подроста. Валка деревьев с укладкой на волок	Проективное покрытие, %	12,9	1,3	–	–	–
	Встречаемость, %	72,0	6,4	–	–	–
II. Сплошная рубка с сохранением подроста. Валка деревьев с укладкой на волок	Проективное покрытие, %	13,4	7,5	4,4	6,9	7,5
	Встречаемость, %	74,0	32,1	35,1	37,5	65,0
III. Постепенная чересполосная рубка	Проективное покрытие, %	11,5	7,2	5,7	7,0	7,3
	Встречаемость, %	68,6	29,2	32,0	37,5	52,4
IV. Постепенная рубка с равномерной выборкой деревьев в пасаке	Проективное покрытие, %	17,2	10,1	9,8	13,6	13,0
	Встречаемость, %	75,8	37,4	45,6	62,5	70,0

В процессе работы на лесосеке она двигалась только по направлению к погрузочной площадке. В это время она срезала деревья впереди и по обеим сторонам, выносила их и укладывала сзади на волок, формируя пачку. После выполнения всех операций лесосечных работ сохранилось 47 % численности подроста и 55 % покрова черники (табл. 5). Почва при этом повреждена на более чем трети площади лесосеки.

В первые пять лет после сплошной рубки по технологии второго варианта произошла частичная деградация черники. В дальнейшем по мере формирования молодняка покров черники постепенно восстанавливался. На 12-й год после рубки его проективное покрытие достигло 7,5 % – величины, которая была непосредственно после рубки, а встречаемость черники превышала аналогичный показатель (табл. 6).

На постепенных рубках использовались две технологии. По одной из них (III вариант), то есть постепенной чересполосной (по П.В. Алексееву), машина ЛП-19, так же как и во II варианте, использовала объездной волок и выносила срезаемые деревья на волок. Однако ленты разрабатывались через одну полосу леса шириной

15 м. Согласно следующей технологии (IV вариант) при постепенной рубке валочно-пакетирующая машина тоже использовала объездной волок. В процессе работы машина ЛП-19 спиливала все деревья на волоке и выборочно (отмеченные в рубку) – по обе стороны от волока. Спеленные деревья выносились и укладывались на волок. Интенсивность разреживания древостоя при первом приеме постепенных рубок, запас которого до рубки составлял 350 м<sup>3</sup>/га, по III и IV вариантам соответственно составляла 50 % и 40 %.

После первого приема постепенных рубок в III и IV вариантах сохранность подроста ели соответственно составила 60,2 % и 53 % (табл. 5) и покрова черники – 63,0 % и 59 % (табл. 6). Формирующийся молодняк и оставшаяся часть материнского древостоя создали благоприятные световые условия для развития покрова черники. Состояние черники несколько ухудшилось только в первые пять лет после рубки, а затем значительно улучшилось. На 12-й год после рубки проективное покрытие покрова черники или достигало величины, которая отмечена сразу после рубки (вариант III), или превысила ее.

На площадях постепенных рубок (варианты III и IV) полностью восстанавливается лесная среда. В живом напочвенном покрове наряду с черникой преобладают теневыносливые виды растений (кислица, майник, седмичник и др.) и зеленые мхи.

Санитарно-выборочные рубки проведены 7 лет назад после урагана в ельнике черничном свежем (Новгородская обл.), который вызвал значительный ветровал деревьев (до 50 %). До рубки древостой характеризовался составом 8Е2Б, возрастом 80 лет, полнотой 0,8, классом бонитета III, запасом 320 шт./га.

Интенсивность разреживания составила около 50 %. При этом полнота древостоя снизилась до 0,4. Рубка способствовала в определенной мере возобновлению леса и прежде всего ели. Так, на участке, пройденном рубкой, численность самосева и подроста составила 6,0 тыс. шт./га (состав-8Е2Б) [4]. Рубка, с одной стороны, стимулирует развитие вейника, с другой – черники. В местах, где достигается сомкнутость древесного полога 0,5–0,6, создающая благоприятные световые условия для черники, проективное покрытие ее достигает 30 %. На волоках, в местах с поврежденной почвой между волоками или с невысокой сомкнутостью древесного полога (0,3–0,4), разрастается вейник с проективным покрытием 30–35 %. В целом соотношение площадей, занимаемых вейником тростниковидным (лесным) и черникой, на участке примерно одинаковое – по 20 %. Проективное покрытие черники на контрольном участке такое же (20 %), как и на участке, пройденном рубкой. Однако вейник здесь практически отсутствует.

Длительно-постепенная рубка (по А.В. Побединскому) произведена в ельнике черничном свежем (Новгородская обл.) 8 лет назад. Основные лесоводственно-таксационные показатели древостоя до рубки следующие: состав 8Е2Б, возраст 100 лет, полнота 0,8, бонитет III, запас на 1 га 280 м<sup>3</sup>. Во время рубки использовалась технология ВНИИЛМ. Интенсивность разреживания составила 55 %. В связи с этим полнота древостоя снизилась до 0,35–0,4.

Означенный способ рубки главного пользования не приводит к существенному усилению развития покрова черники. Это связано со следующими причинами:

– неблагоприятные для роста ягодника световые условия (преобладала сомкнутость древесного полога в пределах 0,35–0,4);

– конкурентное влияние вейника на чернику;

– конкурентное воздействие на ягодник молодняка древесных пород, особенно березы (густота 6,8 тыс. шт./га, состав 6Е4Б).

Проективное покрытие черники на 7-й год после рубки составляло 25 %. Довольно высокое оно было там, где интегральная сомкнутость полога материнского древостоя и молодняка была в пределах 0,5–0,6. В таких местах и местах без подроста с сомкнутостью полога древостоя 0,5–0,6, т.е. в оптимальной для черники световой обстановке, проективное покрытие ее достигало 50–55 %. На поврежденной почве обильно разрастается вейник тростниковидный, проективное покрытие которого зависит от сомкнутости молодняка березы. При отсутствии молодняка березы или небольшой его сомкнутости (0,2–0,4) проективное покрытие вейника достигает 80–90 %. На контрольном участке с сомкнутостью древесного полога 0,4–0,5, в связи с естественным изреживанием за прошедшее после рубки время, проективное покрытие черники было на 5 % выше, чем на участке, пройденном длительно-постепенной рубкой. Лучшее состояние покрова черники на контрольном участке по сравнению с участком, пройденном рубкой, можно объяснить отсутствием поврежденной почвы и покрова ягодника [4].

Длительно-постепенные рубки в целом оказывают положительное влияние на возобновление главной породы. Однако в отдельных местах густой подрост древесных пород отрицательно влияет на состояние ягодника. Поэтому суммарную сомкнутость пологов материнского древостоя и подроста необходимо поддерживать системой рубок (в том числе и комплексными) в таких пределах, которые обеспечивали бы оптимальную световую обстановку для покрова и урожая ягод черники.

По-иному реагирует брусника по сравнению с черникой на проведение рубок главного пользования. Это связано с особенностью биологии и экологии брусники. Так, она, как правило, произрастает на почвах менее плодородных с более легким механическим составом. Брусника требовательнее к свету, чем черника.

Среди способов главных рубок в наибольшей мере изучены лесоводственно-экологические последствия сплошных рубок на участках, занятых брусничкой, в зоне смешанных лесов Русской равнины (Новгородская, Тверская и Влади-

мирская обл.). Сплошные рубки при соблюдении лесоводственно-экологических требований приводят большей частью к успешному возобновлению брусники. Лучше сохраняется и интенсивнее разрастается брусника после проведения сплошных рубок в зимний период [2]. Возобновление брусники в этих случаях достигает максимальных показателей на 3–4-й год после рубки. Проективное покрытие покрова ягодника в это время на вырубке в 2–2,5 раза выше, чем под пологом леса. Сплошные рубки в сосняке бруснично-зеленомошном приводят к формированию вейниково-брусничного и вересково-брусничного типов вырубков.

Сохранность покрова брусники невелика (в пределах 10 %) после работы при сплошных рубках валочно-пакетирующих машин ЛП-19 по технологии, предусматривающей укладку деревьев под углом к волоку. На таких площадях обычно образуется вейниковый тип вырубки с неблагоприятными условиями как для главных древесных пород, так и ягодника. К сожалению, слабо изучены вопросы, связанные с влиянием несплошных (постепенных и выборочных) рубок на состояние и формирование покрова брусники. Наиболее развит покров и высокий урожай ягод брусники наблюдается на площадях вырубок брусничного типа. На образование брусничного (или близкого по экологическим условиям) типа вырубки существенное влияние оказывают сохранность подраста и брусники, степень минерализации почвы и плотность ее верхних горизонтов.

Возобновление и формирование леса, в том числе и ягодников как составной его части, – единый, непрерывный процесс. Возобновление ягодников, как и леса в целом, связано с рубками главного пользования, формирование их – с рубками промежуточного пользования или рубками ухода.

Возобновление и формирование дикорастущих ягодников (прежде всего черники и брусники) в связи с рубками главного и промежуточного пользования идет в условиях сложных взаимоотношений со всеми компонентами леса и главным образом с древесными породами, образующими древостой. Следовательно, задачу рубок следует расширить до обеспечения органического сочетания одновременного выращивания высокопродуктивного древостоя и дикорастущих ягодников с сохранением или улучшением защитных функций леса.

Вопросы формирования покрова ягодников в связи с рубками ухода в нашей стране по сравнению с проблемой возобновления их после главных рубок изучены в меньшей мере. Они рассмотрены применительно к чернике и бруснике в условиях подзоны южной тайги и зоны смешанных лесов Русской равнины (Вологодская, Новгородская и Тверская обл.). Характеристика древостоя, пройденного рубками, приведена в табл. 7, 8. На всех участках произрастала черника, кроме того, на участках 11–14 – и брусника.

Лесоводственная эффективность рубок ухода (проходных и переформирования) приведена по результатам исследований на участках с наличием черники в ельниках черничном свежем (производном типе – березняке черничном) и сосняке черничном [4].

Судя по материалам исследований (табл. 7, 8), полнота в большинстве древостоев после рубок ухода была в пределах 0,5–0,7. Следовательно, рубками ухода создавались благоприятные световые условия для формирования покрова черники и ее плодоношения. Так, рубки ухода, приводящие к такой полноте (и коррелирующей с ней сомкнутости полога) древостоя, оказали в целом положительное влияние на развитие покрова черники (табл. 9). За пять лет после рубки проективное покрытие черники возросло на 5–10 %. Однако состояние покрова черники в разных местах лесосеки неодинаково. Покров черники почти полностью уничтожен на волоках, которые часто зарастали злаковой растительностью (вейником, щучкой и др.). Эти виды являются злостными задернителями почвы, затрудняющими возобновление черники и древесных пород. Хорошо возобновлялась черника на участках с небольшим повреждением почвы на пасажах (участок 8, пробная площадь 9, табл. 9) и в местах с относительно невысокой полнотой древостоя (0,6).

На участках с рубками большей давности происходит формирование стабильного покрова черники (участок 10, пробная площадь 11, 12; табл. 9). На площадях зимней заготовки леса (пробная площадь 11) черника возобновляется успешнее. Это связано с меньшим повреждением почвы из-за мощного снежного покрова и промерзшего почвенного грунта. В отдельных местах волока участка зимней рубки леса наблюдается естественное возобновление черники, которая образует небольшие парцеллы.

Т а б л и ц а 7

**Характеристика древостоя до и после рубок ухода (Вологодская обл.)**

Номер участка леса (пробной площади)	Вид рубок ухода	Давность рубки, лет	Интенсивность рубки	Характеристика древостоя					
				до рубки			после рубки		
				состав (возраст, лет)	запас, м <sup>3</sup> /га	полнота	состав (возраст, лет)	запас, м <sup>3</sup> /га	полнота
1(1)	Проходная рубка	5	25	6Б2Ив1С1Е(50)	150	0,9	4Б4Е1С	113	0,65
2(2)	Проходная рубка	5	25	7Б2Е1С(50)	160	0,9	6Б3С1Е	120	0,55
3(3)	Рубка переформирования	1	30	6Б2С2Е+Ос(60)	236	0,9	4Е3С3Б	160	0,55
4(4)	Рубка переформирования	4	40	7Б2Е1С(50)	170	0,8	4Е2С4Б	128	0,5
5(5)	Рубка переформирования	4	25	8Б2Ос ед.Е(60)	170	0,8	7Б2Е1С	127	0,5
5(6)	Рубка переформирования	4	30	8Б2Ос ед.Е(60)	170	0,8	8Б1Е1Ос	120	0,5
6(7)	Проходная рубка	10	15	8С2Б (80)	280	0,9	9С1Б	238	0,7
7(8)	Рубка переформирования	9	40	4Е6Б(70)	170	0,9	7Е3Б	102	0,5
8(9)	Проходная рубка	6	25	9Б1С(70)	160	0,8	7Б3С	120	0,6
9(10)	Проходная рубка	16	15	8С2Б(60)	210	0,8	9С1Б	190	0,6
10(11)	Проходная рубка	16	20	6Б3С1Е(60)	210	0,7	7Б3С	168	0,5
10(12)	Проходная рубка	16	15	6Б3С1Е(60)	210	0,7	6Б4С	185	0,6

Т а б л и ц а 8

**Характеристика древостоя до и после проходных рубок (Новгородская обл.)**

Номер участка леса	Давность рубки, лет	Интенсивность рубки	Характеристика древостоя					
			До рубки			После рубки		
			состав	запас, м <sup>3</sup> /га	полнота	состав	запас, м <sup>3</sup> /га	полнота
11	10	15	8С2Б	180	0,9	9С1Б	153	0,7
12	16	15	8С2Б	170	0,8	9С1Б	145	0,6
13	3	20	8С1Б1Е	210	0,8	8С1Б1Е	168	0,6
14	3	25	8С4Б	210	0,8	7С3Б	157	0,6

Т а б л и ц а 9

**Влияние рубок ухода на состояние покрова черники (Вологодская обл.)**

Номер участка леса (пробной площади)	Вид рубок ухода	Давность рубки, лет	Интенсивность рубки	Характеристика покрова черники			
				на участках пройденной рубки		на контрольном участке	
				проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %
1(1)	Проходная рубка	5	25	29,8	100,0	25,2	100,0
2(2)	Проходная рубка	5	25	36,0	100,0	30,0	100,0
3(3)	Рубка переформирования	1	30	30,0	100,0	31,5	90,0
4(4)	Рубка переформирования	4	40	40,9	95,0	32,1	100,0
5(5)	Рубка переформирования	4	25	20,4	100,0	9,7	90,0
5(6)	Рубка переформирования	4	30	11,6	90,0		
6(7)	Проходная рубка	10	15	12,9	100,0	9,6	90,0
7(8)	Рубка переформирования	9	40	12,2	87,5	8,7	87,5
8(9)	Проходная рубка	6	25	29,5	100,0	23,8	100,0
9(10)	Проходная рубка	16	15	10,6	90,0	11,6	10,0
10(11)	Проходная рубка	16	20	23,5	100,0	15,4	100,0
10(12)	Проходная рубка	16	15	17,5	90,0		

**Изменение состояния покрова брусники в связи с рубками ухода (Вологодская обл.)**

Номер участка леса (пробной площади)	Вид рубок ухода	Давность рубки	Интенсивность рубки	Характеристика покрова брусники			
				на участках пройденной рубки		на контрольном участке	
				проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %
1(1)	Проходная рубка	5	25	14,0	81,3	6,7	87,5
2(2)	Проходная рубка	5	25	7,4	100,0	2,1	50,0
7(8)	Рубка переформирования	9	40	6,7	93,7	8,7	87,5
8(9)	Проходная рубка	6	25	8,0	95,0	5,6	85,7
9(10)	Проходная рубка	16	15	15,0	100,0	9,4	87,5
10(11)	Проходная рубка	16	20	6,4	100,0	2,1	45,0

Т а б л и ц а 1 1

**Влияние проходных рубок на покров брусники (Новгородская обл.)**

Номер участка	Характеристика древостоя				Интенсивность рубки, %	Давность рубки, лет	Проективное покрытие, %	
	до рубки		после рубки				на участке после рубки	на контрольном участке
	состав	полнота	состав	полнота				
6	8С2Б	0,9	9С1Б	0,7	15	10	2,4	2,1
9	8С2Б	0,8	9С1Б	0,6	15	16	15,0	9,4
11	8С1Б1Е	0,8	8С1Б1Е	0,6	20	3	12,0	10,0
12	6С4Б	0,8	7С3Б	0,6	25	3	12,0	10,0

Рубки переформирования и проходные рубки в определенной степени способствуют возобновлению главной древесной породы. В отдельных местах успешное возобновление древесных пород затрудняет восстановление черники.

Если световые условия для успешного возобновления черники и ели в значительной мере совпадают, то для брусники и главных древесных пород они иные. Так, оптимальные световые условия для развития и плодоношения брусники складываются при сомкнутости древесного полога 0,3–0,4, а для возобновления сосны и ели – соответственно при сомкнутости полога 0,5–0,6 и 0,6–0,7. В связи с этим несколько иначе реагирует брусника (по сравнению с черникой) на проведение обычных рубок ухода, которые направлены, прежде всего, на формирование древостоя. Следовательно, проблема одновременного формирования высокопродуктивных древостоев и дикорастущих ягодников брусники рубками ухода довольно сложная. К тому же она недостаточно изучена. Несомненный интерес в этом отношении представляют результаты исследований И.Л. Ключникова и Ю.Е. Ключниковой [1]. Рубки ухода в целом оказывают положительное влияние на возобновление и формирование покрова брусники, а также на урожайность ягод. Позитивно влияют на покров брусники и рубки ухода, проведенные в Вологодской и Новгородской областях (табл. 10, 11). Более благоприятно сказались на формировании

покрова брусники снижение полноты древостоя до 0,6 и довольно большой период времени, прошедший после рубки (участки 9, 10 Вологодской обл. и участок 9 Новгородской обл.). По всей видимости, наибольший лесоводственный эффект рубки ухода на участках с брусникой могут получить при снижении сомкнутости древесного полога до 0,3–0,4. При такой сомкнутости древесного полога образуются оптимальные световые условия для произрастания ягодника.

Итак, сохранность, возобновление и формирование дикорастущих ягодников (черники и брусники) в связи с рубками определяются прежде всего исходным типом леса (в том числе состоянием покрова ягодников до рубки), характером воздействия способов и видов рубок и применяемой лесозаготовительной техникой. Динамика покрова и урожайность ягодников после рубок наблюдается неодинаковой в различных эколого-географических условиях. Важное значение при этом имеют биология и экология разных видов ягодников и древесной растительности.

#### Библиографический список

1. Ключников, И.Л. Рост и плодоношение брусники на различных возрастных этапах сосновых насаждений и роль древостоя в формировании промысловых ягодных угодий / И.Л. Ключников, Ю.Е. Ключников // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 297. – 1999. – С. 75–79.

2. Ключников, И.Л. Лесоводственные исследования ценопопуляций брусники на сплошных вырубках / И.Л. Ключников, В.И. Обыденников // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 1999. – № 4(9). – С. 45–49.
3. Мелехов, И.С. Лесоводство / И.С. Мелехов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
4. Обыденников, В.И. Использование и воспроизводство ресурсов ягодников в связи с рубками в сельских лесах Новгородской области / В.И. Обыденников, А.Н. Авдеев, Э.А. Авдеев // Лесохозяйственная информация. Министерство природных ресурсов РФ. – М.: ВНИИЛМ. 2002. – № 10. – С. 15–21.
5. Обыденников, В.И. Проблема сохранения, возобновления и повышения продуктивности ягодников в связи с лесоводственными системами / В.И. Обыденников, И.Л. Ключников // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 1998. – № 3. – С. 89–98.
6. Пронина, Е.Л. Влияние лесохозяйственных мероприятий на урожайность черники в черничной группе типов леса. Автореф. диссертации канд. с.-х. наук. ВНИИЛМ / Е.Л. Пронина. – М., 1987. – 24 с.
7. Черкасов, А.Ф. Восстановление зарослей брусники и черники после сплошных рубок / А.Ф. Черкасов, В.В. Шутов, К.А. Миронов // Лесоведение. – 1988. – №4. – С. 42–48.
8. Чжан Юй Син. Об определении урожайности черники в Лисинском и Охтинском лесхозе Ленинградской области / Чжан Юй Син, А.Г. Мошкалев // Лесной журнал. – 1998. – №2–3. – С. 195–197.

## ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ ЛЕСА В СВЯЗИ С РУБКАМИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В.И. ОБЫДЕННИКОВ, *проф. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ, д-р с.-х. наук,*  
М.Е. КУЗНЕЦОВ, *ст. преподаватель каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ,*  
В.А. РАЗЖИВИН, *асп. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ*

Учение о лесе Г.Ф. Морозова [10] состоит из трех частей: биологии лесных пород, биологии насаждений и биологии типов насаждений. Последняя часть построена на созданном им учении о типах насаждений [9, 11]. Ранее классификации насаждений были сугубо хозяйственными и опирались в основном на качество древесины [16]. Г.Ф. Морозов [11] тип насаждений основывал на совокупности всех лесообразователей, то есть на природных, естественноисторических признаках. Идеи Г.Ф. Морозова получили развитие, прежде всего, в научных направлениях, представленных украинской школой (Е.В. Алексеев, П.С. Погребняк, Д.В. Воробьев, Б.Ф. Остапенко) [1, 15] и школой, возглавляемой акад. В.Н. Сукачевым [17, 18].

Академик И.С. Мелехов [6, 7] отмечал, что типы леса долгое время изучались в статике. Такой подход в познании типов леса, по его мнению, оправдывался слабой изученностью их, новизной вопроса, преобладанием девственных лесов или слабо тронутых человеком [7]. В связи с возрастающим антропогенным воздействием на лес (рубки, пожары, мелиорация и др.) типология леса не могла ограничиться статикой. Возникла необходимость изучения типа леса в динамике. Одними из первых идею динамизма в проблему типологических исследований внесли в свое время В.Н. Сукачев [17] и Б.А. Ивашкевич [2].

Динамичность типов леса, отмечал И.С. Мелехов [7], нашла отражение в схеме ти-

пов еловых и сосновых лесов В.Н. Сукачева для южнотаежных лесов европейской части России. Установленные в ней, по мнению И.С. Мелехова [7], эколого-фитоценологические ряды показывают возможные переходы одного типа в другой.

Впервые классификацию, связанную с динамикой типов леса (на примере кедровых лесов Дальнего Востока), предложил Б.А. Ивашкевич [2]. За низшую классификационную единицу он принимал «лесное сочетание». Следующей классификационной единицей является «тип древостоя» (тип насаждений), устанавливаемый по сочетанию древесных пород, образующих древостой. Тип леса («лесное сочетание») Б.А. Ивашкевич рассматривает как определенный ряд лесных сочетаний, развивающихся естественным путем в данных условиях местопроизрастания, одного из другого в зависимости от развития древостоя, определяющих характер этих сочетаний, то есть при незначительном изменении условий местопроизрастания. Следовательно, основными признаками, по которым устанавливается тип леса («лесное сочетание»), служат условия местопроизрастания, преобладающая древесная порода и характер развития древостоя.

Дальнейшее развитие типологии леса в России получило в современных научных направлениях: генетической и динамической типологии леса.

Б.П. Колесников на основе идей Б.А. Ивашкевича [2] разработал генетическую

классификацию типов леса. Под генетической классификацией леса он понимал такую, в основу которой положены закономерности процессов возникновения и развития леса и которая охватывает все стадии развития лесных насаждений [3]. Б.П. Колесников [3] выделил (так же, как и Б.А. Ивашкевич) восемь стадий в жизни кедровых лесов, каждая из которых имеет 40-летнюю продолжительность. В схеме развития кедровых лесов приведены возрастные и восстановительные стадии насаждений в течение жизни одного поколения кедра. За низшую элементарную единицу Б.П. Колесников [3] принимает тип насаждений. Тип насаждений (по Колесникову) – это участки леса, принадлежащие к одноименным стадиям возрастных и лесовосстановительных смен. Тип леса и лесную формацию он относит к основным единицам генетической классификации. Тип леса, по мнению Б.П. Колесникова [3], состоит из типов насаждений, которые являются формой его существования. При установлении типа леса принимается не преобладающая порода какой-либо стадии или фазы возрастного или коротко восстановительного развития леса, а главная порода, способная осуществить преобладание ко времени возрастной спелости.

Генетическая типология леса нашла широкое признание и применение в нашей стране (особенно на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке). У Б.П. Колесникова множество учеников и последователей (Н.Г. Васильев, Ю.И. Манько, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов, Е.М. Фильрозе, П.Ф. Трусов и др.).

Академик И.С. Мелехов [9, 11] успешно развивал динамическую типологию леса. Он отмечал, что «динамическая типология» лучше, чем «генетическая», отражает существо вопроса. Генетическая типология, по его мнению, ограничивается рассмотрением возрастных и восстановительных стадий в пределах одного типа леса, а для динамической характерен более широкий подход, включая влияние человека [7]. Динамическая типология привлекала внимание Б.П. Колесникова, который одно время соглашался с предложениями И.С. Мелехова. Так, он писал, что «к этой категории современной классификации типов леса уместно применить термин «динамическое», предложенный И.С. Мелеховым в 1965 г. [6]. Позднее на страницах журнала «Лесоведение» за 1974 г. он отстаивал позиции генетической типологии леса [5]. Динамическое и ге-

нетическое направления в отечественной лесной типологии, по мнению Л.П. Рысина [16], не являются аналогами (различие между ними не только терминологическое), но и противопоставлять их нет основания.

Тип леса, по И.С. Мелехову [6, 7], динамическая система на биогеоценозном (экосистемном) уровне. Он характеризуется общностью морфологии, происхождения и развития лесного сообщества, общими особенностями лесорастительных условий и тенденций развития леса. И.С. Мелеховым [7] разработана общая принципиальная схема формирования типов леса в связи с влиянием антропогенных факторов (рис. 1).

Согласно этой схеме после полного удаления древостоя, связанного с антропогенными факторами, возможны этапы, предшествующие образованию леса (типы вырубок, гарей), формирующегося типа леса (включая промежуточные и переходные типы леса), сложившегося или сформировавшегося типа леса (в спелом возрасте древостоя) и возможные этапы с переходом или без перехода в новый тип леса. В целом полное удаление древостоя приводит к формированию типа леса или через безлесный этап (тип вырубки или тип гарей), или минуя его.

Предложенная И.С. Мелеховым принципиальная схема (рис. 1) явилась научно-методической основой для разработки конкретных региональных схем. Так, им рассмотрен один из конкретных вариантов схемы, в которой нашла отражение динамика типов леса после сплошных рубок древостоя в ельниках черничных таежной зоны европейской части России (рис. 2). В ней приведены пути формирования типов вырубок и последующих этапов типов ельников. Результаты наших исследований [12, 13] позволили установить этапы формирования типов леса после сплошных рубок в ельниках черничных в условиях зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов Русской равнины (рис. 3). Рассмотрим особенности этих этапов обстоятельнее.

Значительные повреждения почвы (на 70 % площади и более) после рубок в ельнике черничном свежем приводят к образованию ситникового типа вырубки. Здесь на поверхности вырубок с поврежденной почвой разрастается ситник развесистый, на вырубках с неповрежденной почвой – вейник тростниковидный (лесной). Затем (с давностью рубки) происходит постепенная смена ситникового покрова на вейниковый. Характер смены

зависит от степени уплотнения почвы. С уменьшением плотности повреждения почвы такая смена протекает более интенсивно. В связи с этим и

трансформация сначала ситникового типа в ситниково-вейниковый, а затем – в березняк вейниковый происходит с разной скоростью.

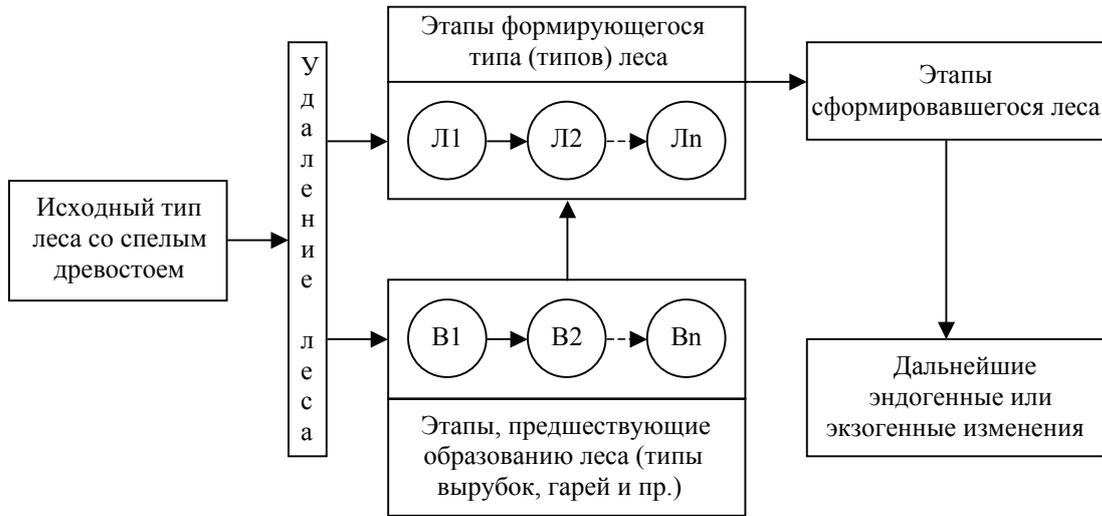


Рис. 1. Схема формирования типов леса (Л – лес, В – вырубка) (по И.С. Мелехову)

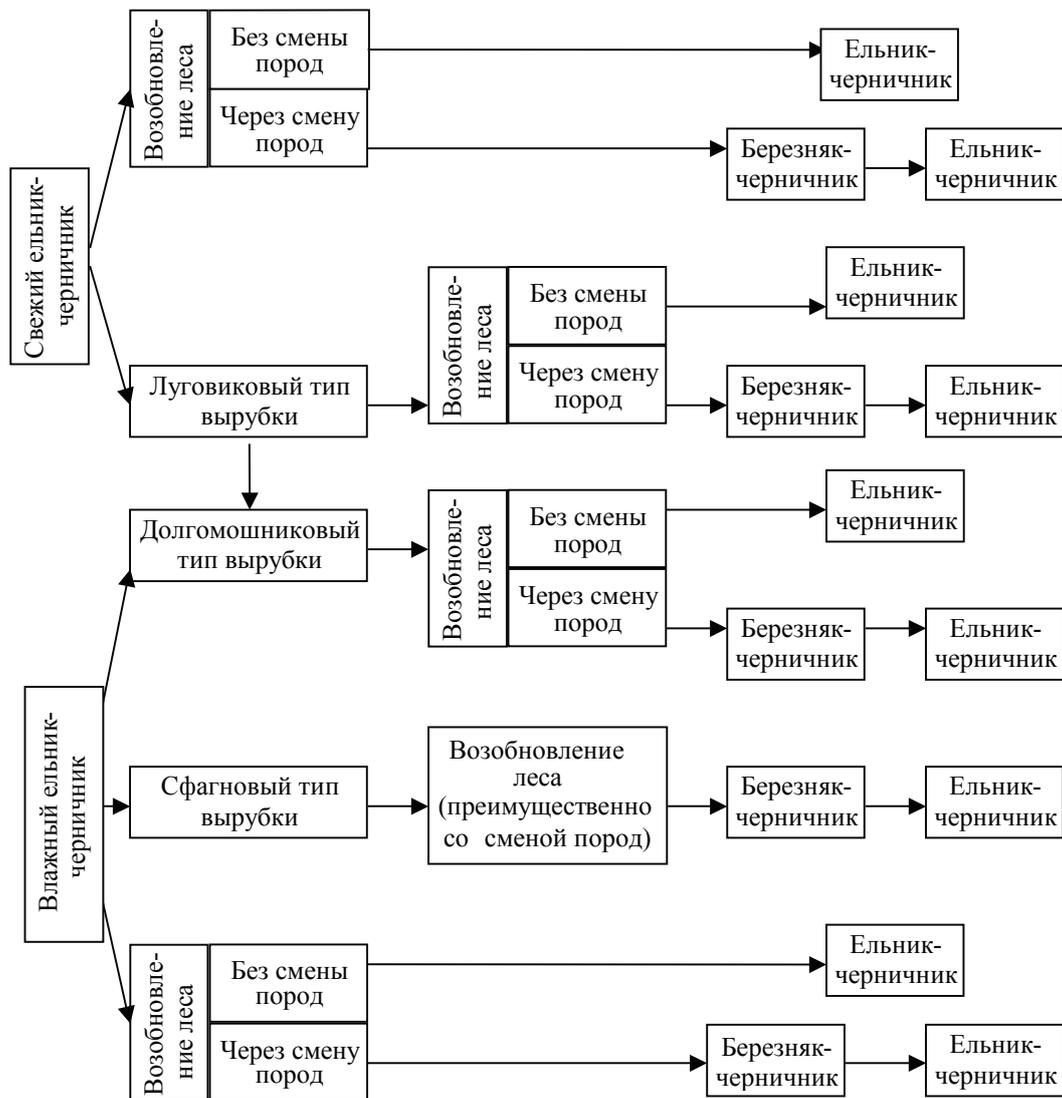


Рис. 2. Динамика типов леса после сплошных рубок на месте ельников черничных в таежной зоне (по И.С. Мелехову)

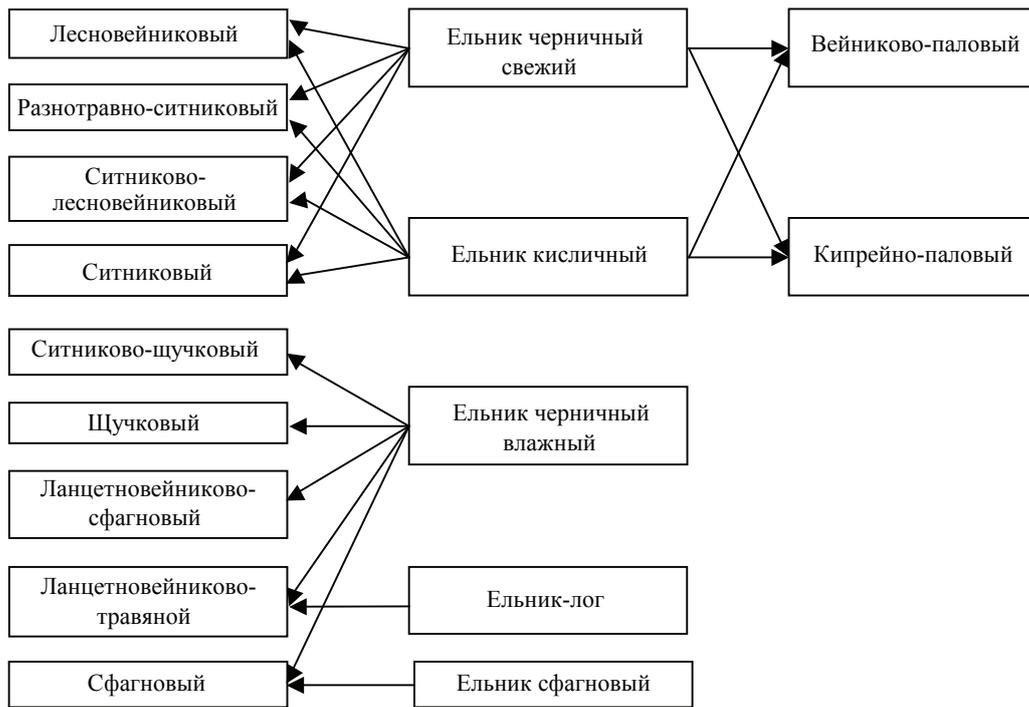


Рис. 3. Динамика типов леса после сплошных рубок на месте ельников черничных в зоне смешанных лесов Русской равнины (по Обыденникову В.И.)

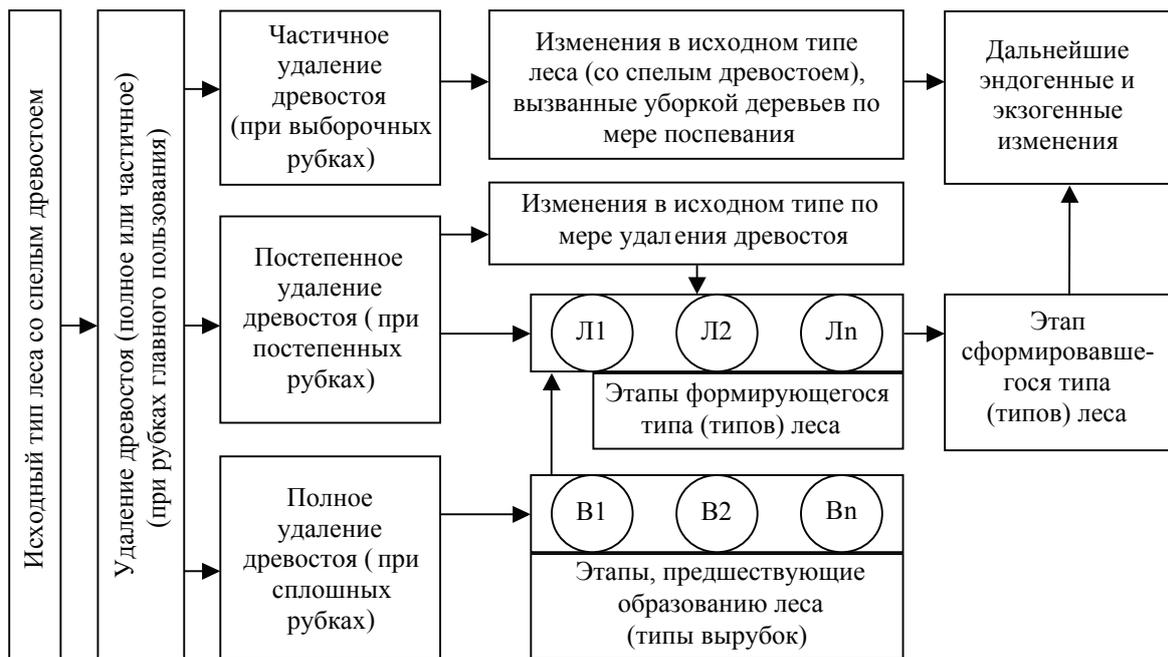


Рис. 4. Схема-модель формирования типов леса в связи с характером удаления материнского древостоя, связанным со способами рубок главного пользования. Л – лесные этапы; В – вырубки

После сплошной рубки в означенном исходном типе леса, предусматривающей технологию, обеспечивающую высокую сохранность подроста, формирование типа леса (ельника черничного свежего) идет, минуя безлесный этап (тип вырубке). Характер формирования леса за счет сохраненного подроста ели предварительного возобновления определяется его высотой

и возрастной структурой. Так, из сохраненного подростка ели старше 16 лет в формирующемся молодняке образуется верхний ярус. На участках рубок с наличием подростка ели в возрасте 12–16 лет формируется одноярусный смешанный древостой, представленный елью и березой (осиной). После рубки спелого древостоя с подростом главной породы моложе 12 лет образуется

молодняк с верхним ярусом из лиственных пород (березы и осины) и нижним – из ели (в том числе и подростом последующего возобновления). Волока, места с поврежденной почвой (лесозаготовительными машинами), успешно заселяются лиственными породами. В дальнейшем под пологом молодняков лиственных пород появляется ель последующего возобновления.

После сплошных рубок в ельнике черничном влажном чаще всего образуется сфагновый тип вырубki, который переходит в ланцетновейниково-сфагновый, а последний трансформируется в начальный этап типа леса – березняк вейниково-сфагновый (рис. 3). На сильно уплотненной почве, вблизи лесовозных усов (или погрузочных площадок), формируются ситниково-щучковый и щучковый типы вырубок. Период возобновления на вырубках этих типов растягивается на 15–20 лет и заканчивается начальным этапом типа леса – березняком вейниково-сфагновым. Непосредственное формирование того же исходного типа леса (ельника черничного влажного) происходит сразу же после рубки при условии высокой сохранности подроста главной породы (рис. 3).

С использованием теоретических положений генетической и динамической типологии леса нами предложена модель-схема формирования типов леса в связи с рубками главного пользования (рис. 4). В ней находит развитие принципиальная схема формирования типов леса под влиянием антропогенных факторов И.С. Мелехова [7] (рис. 1). В этой схеме наряду с формированием типов леса, связанных с радикальным воздействием на лес (сплошных рубок, пожаров и т.д.), то есть после сплошного удаления древостоя (по И.С. Мелехову [7]), рассматривается и формирование типов леса после постепенного и частичного удаления древостоя, вызванного постепенными и выборочными рубками.

Формирование леса после постепенных рубок может осуществляться за счет подроста молодняка как предварительного, так и сопутствующего возобновления. Срок формирования (выращивания) леса сокращается после проведения полного цикла постепенных рубок. Так, на лесосеках с подростом он сокращается на период, равный сумме возраста подроста (до рубки) и отрезка времени, затраченного на проведение постепенных рубок. Например, в зоне смешанных лесов Русской равнины средний возраст подроста ели на одном из участков в ельнике черничном

свежем (Крестецкий лесхоз Новгородской области) был до рубки 27 лет, время проведения трех приемов постепенных рубок составило 15 лет. Сразу же после последнего приема рубки образовался чистый средневозрастной еловый древостой. При этом срок его выращивания сократился более чем на 40 лет.

В этом случае по существу идет формирование того же типа леса, который был до рубки (ельник черничник влажный). Когда же под пологом леса (до рубки) отсутствует подрост главной породы, постепенные рубки направлены на создание благоприятных условий для сопутствующего возобновления. Здесь после последнего приема постепенной рубки образуется молодняк, представленный главной породой, возраст которого находится в пределах всего цикла проведения рубок (как правило 20 лет). Следовательно, период формирования (выращивания) леса сокращается до одного класса возраста главной породы. Качественное состояние леса (его тип) на таких участках остается без существенных изменений. Изменение типа леса в связи с постепенными рубками может произойти в определенных почвенно-климатических условиях с наличием древостоев, представленных светолюбивыми породами (сосной или лиственницей) с успешным возобновлением другой породы (чаще всего ели). Например, смена пород после постепенных рубок возможна в борах зеленомошных (с наличием под пологом древостоя ели) в таежной зоне и зоне смешанных лесов европейской части России [8]. Изменение типа леса возможно при проведении постепенных рубок в лиственничниках зеленомошно-брусничном и зеленомошном с елью (южная тайга Дальнего Востока, Хабаровский край), где обычно отмечается удовлетворительное возобновление ели (чаще всего ели аянской) [14]. На таких участках, в частности после постепенных рубок, возможен переход лиственничника зеленомошного с елью в ельник зеленомошный.

Выборочные рубки, при которых происходит частичное удаление древостоя, обычно не оказывают существенного влияния на экосистемную сущность леса. Формирование нового поколения леса в связи с этими рубками (из самосева предварительного и сопутствующего возобновления) происходит под пологом материнского древостоя. Переход одного типа леса в другой в процессе выборочных рубок может произойти в тех случаях, когда под пологом древостоя идет успешное во-

зобновление другой породы. Например, смена пород и, следовательно, переход одного типа в другой в связи с выборочными рубками может быть в сосняках зеленомошной группы типов (таежной зоны европейской части России) и лиственничниках зеленомошно-брусничном и зеленомошном с елью (южная тайга Дальнего Востока).

При изучении и оценке эндогенных и экзогенных изменений в типах леса в связи с рубками главного пользования применялись теоретические положения генетической и динамической типологии леса. Для более глубокого познания эндогенных изменений в лесу важное значение имело использование методических подходов генетической типологии леса. Этапы формирования типов леса после рубок главного пользования с большей определенностью устанавливались на основе динамической типологии леса.

Системный подход к исследованию позволил выявить природную основу механизма основных связей в динамике типов леса.

Характер изменения лесного биогеоценоза как открытой динамической системы обусловлен механизмом прямых и обратных связей. Этот механизм обеспечивает регулирование внутривидовых и межвидовых отношений между лесными растениями, которые особенно рельефно проявляются в характере естественного изреживания и естественном отборе.

Возобновление и формирование леса в связи с разными способами рубок главного пользования начинаются с неодинаковых этапов развития экосистемы, для каждого из которых характерен определенный уровень ее организации. В процессе выборочных рубок на одном и том же участке всегда остается материнский древостой и лесная среда, а биогеоценозическая, экосистемная целостность леса сохраняется или нарушается незначительно. Уровень организации экосистемы в этом случае очень высокий. Здесь функции отрицательной обратной связи в основном выполняет древостой и частично подрост предварительного или сопутствующего возобновления. Они позволяют поддерживать устойчивость лесной экосистемы. После постепенных и сплошных рубок на лесосеках с подростом (при условии высокой его сохранности) сразу же появляется молодняк (или молодой древостой более старшего возраста), то есть начинает формироваться лесное сообщество. На последующих этапах формирования леса повышается уровень

организации экосистемы. Здесь роль отрицательной обратной связи выполняет формирующийся древостой. После сплошных рубок (на лесосеках без подростка или при полном его уничтожении в процессе лесозаготовок), то есть на раннем этапе развития экосистемы (типа вырубki или возобновления), характеризующемся низким уровнем организации системы, наблюдается сильная ее зависимость от окружающей среды. Здесь функцию положительной обратной связи выполняет большей частью живой напочвенный покров, который уводит лесную экосистему все дальше от исходного положения, а подрост выполняет функцию отрицательной обратной связи, способствующей приближению системы к исходному положению (исходному типу леса). Этот этап, предшествующий образованию леса, является наиболее сложным в динамике типов леса. Более глубокое познание его природы возможно на современной научной основе лесовозобновления на вырубках. Такой основой служит учение И.С. Мелехова о типах вырубki [8], которое является составной частью динамической типологии леса и в то же время имеет самостоятельное значение.

Итак, динамика типов леса, принципиальные моменты которой нашли отражение в предложенной нами схеме-модели (рис. 4), определяется прежде всего способами рубок главного пользования. Характер формирования типов леса в пределах каждого из способов рубок или принципа удаления древостоя (полное, постепенное или частичное) в определенном исходном типе леса (того или иного региона) зависит от множества природных и антропогенных факторов. К ним, прежде всего, относятся особенности безлесного этапа (типа вырубki), состояние, густота, возрастная и высотная структура подростка предварительного возобновления, степень его сохранности, успешность последующего и сопутствующего возобновления леса и др. Предложенная схема-модель позволяет иметь целостное представление о динамике типов леса в связи с разными способами рубок главного пользования и может служить отправной точкой для более детального изучения эндогенных и экзогенных изменений в лесу. По мере накопления сведений о динамике типов леса в связи с рубками главного пользования рассмотренная схема-модель формирования типов леса (рис. 4) может быть использована (как принципиальная природная основа) для разработки математической модели.

**Библиографический список**

1. Воробьев, Д.В. Лесная типология и ее применение. Лекция 1 / Д.В. Воробьев, Б.Ф. Остапенко. – Харьков, 1977. – 56 с.
2. Ивашкевич, Б.А. Дальневосточные леса и их промышленное будущее / Б.А. Ивашкевич. – Хабаровск: ДВ ОГИЗ, 1933. – 168 с.
3. Колесников, Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока / Б.П. Колесников // Труды Дальневосточной ФАН СССР. Т. 2 – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 263 с.
4. Колесников, Б.П. Некоторые вопросы развития лесной типологии / Б.П. Колесников // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья: Труды Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – Вып. 53 – Свердловск, 1967 – С. 3–11.
5. Колесников, Б.П. Генетический этап в лесной типологии / Б.П. Колесников // Лесоведение. – 1974. – №2. – С. 3–20.
6. Мелехов, И.С. Динамическая типология леса / И.С. Мелехов // Лесное хозяйство. – 1968. – № 5. – С. 15–20.
7. Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 406 с.
8. Мелехов, И.С. Лесоводство / И.С. Мелехов – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
9. Морозов, Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве / Г.Ф. Морозов // Лесной журнал. – 1904. – Вып. 1. – С. 6–25.
10. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.-Л.: Госиздат, 1928. – 368 с.
11. Морозов, Г.Ф. Учение о типах насаждений. Посмертное издание под редакцией проф. В.В. Гумана / Г.Ф. Морозов. – М.-Л.: Гос. изд-во сельскохоз. и колхозно-кооперат. литер. – 1931. – 421 с.
12. Обыденников, В.И. Влияние разных технологий рубок с применением машин на формирование типов вырубков и возобновление леса / В.И. Обыденников // Лесное хозяйство. – 1980. – № 7. – С. 23–25.
13. Обыденников, В.И. Лесоводственно-географические аспекты последствий сплошных рубок / В.И. Обыденников // Лесохозяйственная информация. МПР. – М.: ВНИИЛМ. – 2002. – № 4. – С. 28–54.
14. Обыденников, В.И. Типы вырубков и возобновление леса / В.И. Обыденников, Н.И. Кожухов. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 176 с.
15. Остапенко, Б.Ф. Лесоводственно-экологическая типология и ее классификационная система: Лекция 2 / Б.Ф. Остапенко. – Харьков, 1978. – 72 с.
16. Рысин, Л.П. Лесная типология в СССР / Л.П. Рысин. – М.: Наука, 1982. – 217 с.
17. Сукачев, В.Н. Руководство к исследованию типов леса / В.Н. Сукачев. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1930. – 348 с.
18. Сукачев, В.Н. Избранные труды. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Т. 1. / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, 1972. – 419 с.

**МНОГОУГОЛЬНАЯ ВЫБОРКА В СМЕШАННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**

А.А. ВАЙС, доц. каф. лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГТУ, канд. с.-х. наук

Совершенствование методов учета лесных ресурсов в настоящее время является одним из определяющих условий для успешного решения задач по дальнейшему устойчивому развитию лесного хозяйства, повышению продуктивности лесов и их рациональному использованию.

В последние годы оценка и инвентаризация лесов проводится на основе разработки и широкого применения выборочных методов таксации насаждений. Существует много способов выборочных измерений, имеющих различие в теоретическом обосновании, в методологии и содержании работ по их применению, а также в технологии дальнейшей обработки результатов измерений.

Таксация методом многоугольной выборки относится к перечислительному методу с помощью многоугольных площадок. Впервые данный метод был представлен в журнале «Лесное хозяйство» (1988 г., № 11) А.Г. Хватовым [5].

При использовании многоугольной выборки (МУВ) рассчитывается площадь, образуемая между центральным (учетным) и ближайшими к нему граничными деревьями. Центральное (учетное) дерево выбирают из основного элемен-

та леса как наиболее близкое к среднему значению в систематически намеченных точках выдела. Центры поперечных сечений служат вершинами расчетного многоугольника, а стороны его – границей выборки. В каждой выборке измеряют средние диаметры и расстояния между центральными и граничными, а также расстояние между соседними граничными деревьями.

Для апробации метода многоугольной выборки в условиях учебно-опытного лесхоза Караульного лесничества были заложены пробные площади. Для таксации подбирались смешанные сосняки различной полноты.

Технология метода заключалась в следующем:

А. Ведется подбор участков в смешанных древостоях с учетом площади выделов (5–6 га) и полнот. Первый участок с полнотой 0,88, второй участок с полнотой 1,33, третий имеет полноту 1,17. Сведения для подбора выделов берутся из таксационных показателей.

Б. На каждом участке закладывается прямоугольная пробная площадь. Размер определяется количеством деревьев, не менее 200 шт. На пробе производится сплошной пересчет для даль-

нейших расчетов средних таксационных показателей.

В. На каждом участке закладываются рекреационные площадки, 3–5 шт. согласно «Наставлению ...» [2].

Г. Замеряют высоты, по три замера в трех средних ступенях толщины (не менее 15 деревьев).

Д. В выделе прокладываются два внутренних визира, на которых закладываются пробные многоугольные площадки.

Е. Количество площадок определяют следующим образом: исходя из данных перечета для средней ступени толщины площадок берут для сосны 6–8, для березы 4–8.

Ж. Расстояние между площадками определяется по формуле

$$L = (l_1 + l_2) / n, \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между площадками, м;

$l_1, l_2$  – длина визиров, м;

$n$  – общее количество намеченных площадок, шт.

З. На площадке подбирают дерево, близкое к среднему для насаждения по диаметру. От этого дерева замеряют расстояние до ближайших рядом стоящих деревьев и расстояние между ними. У каждого дерева замеряются диаметры в двух направлениях, а также размеры крон в четырех направлениях.

И. По всем полнотам было заложено 23 площадки для сосны, 19 площадок для деревьев березы. Всего замерено 259 расстояний для площадок с центром деревьев березы и 302 расстояния для растений сосны.

К. Обработка материала выполнялась на ПЭВМ с помощью электронной таблицы «Excel» и разработанного алгоритма. Цель авторской программы – определение площади многоугольной выборки (МУВ). Исходными данными для алгоритма являются расстояния от центрального дерева до двух граничных особей и расстояние между ними, что в результате образует замкнутый треугольник. Затем рассчитывается общая площадь МУВ путем суммирования площадей треугольников.

Второй алгоритм разработан для расчета площади поперечных сечений деревьев на площадке. Исходными данными для работы программы служат расстояния: от центрального дерева до второго и предпоследнего; от центрального дерева до первого растения; от первого дерева до предыдущего; от первого дерева до следующего

и диаметр первого дерева. После ввода данных получают два виртуальных треугольника. В результате действия алгоритма вычисляют полупериметры треугольников; площади треугольников; для граничных деревьев – внутренние углы вершин треугольников.

В конечном итоге путем расчета и накопления внутренних углов граничных деревьев получают площадь поперечного сечения центрального дерева и площади внутренних секторов площадей поперечных сечений граничных деревьев.

Л. Таксационная характеристика сосново-березовых древостоев характеризуется следующими особенностями. Представленность сосны в составе менялась от 40 до 80 % по запасу, березы – соответственно 20–60 %. Возраст соснового элемента 35–70 лет, березового элемента 60–70 лет. Тип леса – разнотравный. Средний диаметр деревьев сосны 12,0–20,7 см, березы – 26,1–30,8 см. Средняя высота сосны – 12,7–18,5 м, березы – 21,4–23,4 м. Класс бонитета – 2.

Исследование МУВ проводилось в смешанных сосняках (березняках) различного состава и густоты.

После обработки данных получены значения сумм площадей поперечных сечений деревьев сосны и березы на точно установленной площади выборочной площадки.

Варьирование числа деревьев на учетных площадках многие исследователи относят к одному из важнейших факторов, влияющих на точность таксации древостоев выборочными методами [4].

По отдельным показателям наблюдаются следующие закономерности. У сосны как преобладающей древесной породы по площади сечений изменчивость на пробах менялась от 52,2 до 90,6 %, количество деревьев варьировало от 31,3 до 62 %, диаметр стволов от 20,4 до 53,9 %. У березы коэффициент изменчивости менялся следующим образом: площадь сечения от 64,0 до 90,8 %; по числу стволов от 53,5 до 64,5 %; диаметр стволов от 43,9 до 68,1 %. По исследованиям А.Г. Мошкалева [1], на распределение деревьев по ступеням толщины (соответственно и на изменчивость диаметров) оказывает влияние неравномерность стояния деревьев в таксационном выделе.

А.Н. Федосимов [3] отмечает, что изменчивость площадей сечений на отдельных площад-

ках менялась для лесов Коми АССР и в среднем составила 45,4 %, а необходимое количество деревьев – 45 %. Наши данные превышают указанное значение, что требует оптимизации количества площадок.

Важной задачей при таксации смешанных насаждений методом МУВ является определение необходимого количества площадок и соотношение учетных проб для главной и второстепенных древесных пород. Интенсивность выборки (или число закладываемых в таксационном участке площадок) должна обеспечивать выполнение инструктивных требований к точности определения таксационных показателей насаждений.

С целью установления оптимального количества площадок были построены графики для оптимизации площади ( $S$ ); площади поперечного сечения деревьев ( $\Sigma G$ ) и числа стволов ( $N$ ). Для определения оптимума на графиках устанавливалась точка, при которой накопленная площадь поперечных сечений деревьев на одном гектаре стабилизировалась на определенном уровне (рис. 1, 2).

Определенная сложность возникает в связи с разновозрастностью древостоев, а значит, наличием деревьев различной толщины. Поэтому для установления истинных диаметров второстепенных пород необходимо заложить 4 площадки, где центральным деревом является сопутствующая древесная порода (береза).

В окончательном варианте рекомендуемое количество площадок при таксации смешанных разновозрастных древостоев следующее.

Пять площадок МУВ, где центральное дерево преобладающей древесной породы – сосна. По данным этих площадок устанавливают соотношение древесных пород по площади сечений и диаметр преобладающей породы.

Четыре площадки МУВ закладываются для второстепенных древесных пород с целью установления средней толщины березы. Оптимальные параметры площадок приведены в таблице.

Метод МУВ не позволяет объективно определить количество стволов на 1 га. В связи с этим густоту устанавливают методом «летучих» площадок.

Сравнительная апробация с двумя основными методами таксации: сплошным пересчетом и реласкопическими площадками метода многоугольной выборки – указывает на сложность таксации смешанных разновозрастных древостоев.

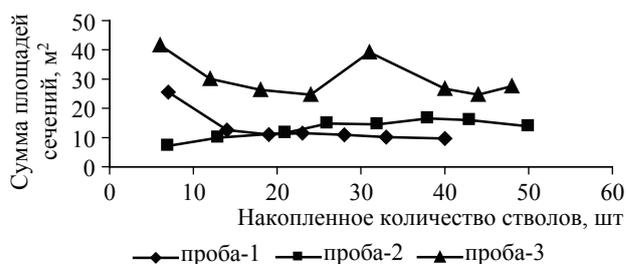


Рис. 1. Зависимость суммы площадей поперечных сечений на 1 га от накопленного количества стволов для соснового элемента

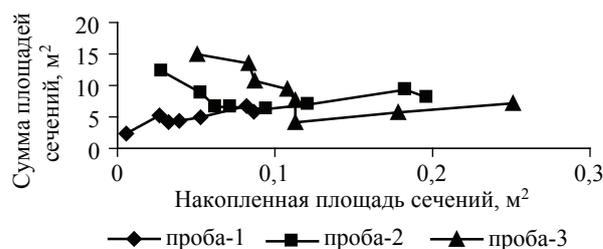


Рис. 2. Зависимость суммы площадей поперечных сечений деревьев на 1 га от накопленной площади сечений МУВ для березового элемента

Т а б л и ц а

**Оптимальные показатели площадок МУВ**

Оптимальные показатели	Порода	
	С	Б
Накопленная площадь, м²	110	175
Накопленная площадь поперечных сечений, м²	0,2133	0,1128
Накопленное количество стволов, шт.	26	9
Число площадок, шт.	5	4

На первой пробе все три метода дали приемлемые результаты, различия в пределах 10 %.

На второй пробе данные реласкопических площадок и МУВ близки друг другу, но значительно разнятся с данными сплошного пересчета.

На третьей пробе данные МУВ и сплошного пересчета практически совпадают. Реласкопические площадки дали неприемлемые результаты.

Использование метода многоугольной выборки в смешанных древостоях требует дополнительных исследований.

В дальнейшем необходимо обратить внимание на площадь МУВ (увеличить размер площадки). Центральное дерево для МУВ должно соответствовать не средней толщине элемента леса, а подбираться случайным образом на визирной точке.

На основе выполненных исследований применения метода МУВ в практической таксации можно сделать следующие выводы:

а) неоднородная структура древостоев (разновозрастность, куртинное размещение деревьев) приводит к значительным ошибкам таксации выделов различными методами;

б) высокая изменчивость таксационных показателей на учетных площадках вызывает необходимость увеличения количества площадок многоугольной выборки (МУВ);

в) при таксации смешанных насаждений для преобладающего элемента леса центральное дерево при МУВ может быть как главной, так и второстепенной древесной породой;

г) таксация второстепенного элемента предполагает, что центральное дерево должно быть данной породы;

д) оптимальное количество площадок для таксации смешанных древостоев 5–6 шт. для основного элемента (центральное дерево – сосна).

Для определения среднего диаметра достаточно 4 площадок, где центральное дерево – сопутствующая порода. Таким образом, количество площадок увеличивается до 9 шт.

Метод многоугольной выборки является перспективным в связи с экологизацией лесохозяйственной деятельности и внедрением в производство методов, соответствующих реальной структурной организации древостоев (био группы, социальные группы). Главными проблемными вопросами метода многоугольной выборки является размер площадки и выбор центрального дерева.

зайственной деятельности и внедрением в производство методов, соответствующих реальной структурной организации древостоев (био группы, социальные группы). Главными проблемными вопросами метода многоугольной выборки является размер площадки и выбор центрального дерева.

#### Библиографический список

1. Мошкалева, А.Г. Характеристика неоднородности древостоя таксационного выдела и ее значение / А.Г. Мошкалева // Изв. вузов. Лесной журнал. – 1964. – № 2. – С. 30–34.
2. Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах РФ. – Утв. пр. Фед. сл. лесн. хоз-ва России от 15 июня 1993 г., № 155. – Москва, 1993. – 73 с.
3. Федосимов, А.Н. Определение изменчивости площадей сечений и запасов в объекте при планировании работ по учету лесного фонда статистическим способом. – В кн. Исследования по лесной таксации и лесоустройству / А.Н. Федосимов. – М.: Лесная пром-сть, 1968. – С. 75–80.
4. Федосимов, А.Н. Выборочная таксация леса / А.Н. Федосимов, В.Г. Анисочкин. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 153 с.
5. Хватов, А.Г. Многоугольная выборка в лесной таксации / А.Г. Хватов // Лесное хозяйство. – 1988. – № 1. – С. 37–39.

### ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ РОСТА И ОТПАДА ДЕРЕВЬЕВ В ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

А.А. ВАЙС, доц. каф. лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГТУ, канд. с.-х. наук

В последние годы большое внимание уделяется повышению устойчивости лесных массивов [1]. Основным инструментом решения данной задачи является лесной мониторинг [2].

Процессы роста лесообразующих пород принято изучать методом постоянных пробных площадей с группировкой их в один естественный ряд [3]. Безусловно, лесообразовательный процесс – это более сложное явление, чем изменение таксационных показателей древостоя. Поэтому динамику процессов роста и отпада деревьев целесообразно изучать на основе наблюдений на постоянных пробных площадях в течение всего периода.

Темнохвойные леса играют важную роль в формировании биосферы [4]. По мнению ряда ученых, эти ценные леса постепенно исчезают [5, 6]. В.В. Кузьмичев и другие [6] отмечают следующие основные особенности насаждений исследуемого района:

А. выраженная разновозрастность (для деревьев пихты 40–160 лет);

Б. варианты возрастной структуры с обособленными поколениями представлены примерно в 30 % случаев при преобладании размытых поколений.

В. связи высот и диаметров отдельных древостоев образуют узкие пучки параллельных и пересекающихся линий, причем в смешанном сообществе эти линии для ели и пихты могут заметно различаться.

Г. наблюдается тесная корреляция высот и диаметров деревьев. Их текущий прирост по объему может быть определен достаточно надежно по его связи с толщиной.

Известный исследователь пихтовых насаждений Э.Н. Фалалеев [7] указывал, что пихтовый древостой, создавая своеобразные условия среды под пологом, оказывает мощное влияние на ход естественного возобновления, развитие подлеска, травяной и моховой покров. Решающую роль при этом играет световой режим. Автор предлагает выделять стадии развития пихтачей: молодняка,

средневозрастности, приспевания, спелости, перестойности, разрушения и окончательного распада.

Особенности формирования темнохвойной тайги предполагают организацию выборочного хозяйства. Н.П. Анучин [8] рекомендовал сложные насаждения разделять на три поколения верхней части древостоя и два поколения подроста (первого и второго класса возраста).

По данным Э.Н. Фалалеева [7], в условиях Сибири насаждения пихты в молодом возрасте (до 20–40 лет) не встречаются. Обновление пихтарников в естественных условиях может происходить лишь постепенно, по мере отпада старых деревьев за счет подроста, почти всегда имеющегося под материнским пологом.

Последняя лесоустроительная инструкция косвенно относит к подросту при таксации дерева, если его высота менее 4 м. Выделение в разновозрастном насаждении поколения подроста (первого класса возраста) подтверждает теорию непрерывного лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах. Объектами изучения являлись смешанные пихтовые насаждения, расположенные на территории Большемуртинского лесхоза.

Координатные пробные площади были заложены в пихтачах средневозрастной стадии развития после распада осинового древостоя в 1991 г. Повторные измерения выполнены в 2005 г.

Территория характеризуется незначительными высотами в пределах 180–400 м н. у. моря при слабо расчлененной поверхности. В структурно-тектоническом отношении территория района относится к Чулымо-Енисейской впадине, выполненной юрскими, меловыми, палеогеновыми и неогеновыми отложениями. Водораздельные пространства расчленены слабо, почвенный покров их отличается значительной мощностью. Преобладают лесные темно-серые почвы, по механическому составу почвы в большей степени суглинистые, по влажности – свежие и влажные.

По схеме климатического районирования [9] территория объекта относится к Западно-Сибирскому району атлантического переноса. Большая продолжительность дня летом и значительная величина инсоляции оказывают благоприятное влияние на вегетацию растений. Вегетационный период имеет продолжительность 143 дня. Древесная растительность района представлена темнохвойными лесами с абсолютным преобладанием пихтачей, иногда в поймах рек смешивающихся с елью, реже с кедром.

Закладка пробных площадей производилась в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [10]. Помимо общего перечета древостоев, составлены планы месторасположения деревьев. У каждого дерева были измерены диаметры на высоте груди в двух направлениях, радиусы кроны по сторонам света С, Ю, З, В. Определялся размер кроны методом глазомерного вертикального проецирования максимальной точки на мерный шест. Высоты измерялись у учетных деревьев в количестве, достаточном для построения графиков высот.

Динамика процессов роста на уровне насаждения устанавливалась как разница между таксационными показателями за 15-летний период (1991–2005 гг.). На уровне растущего дерева пространственные характеристики (среднее расстояние между ближайшими «соседами») определялись по формуле [11]

$$L_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{cp}}$  – среднее расстояние от условного дерева до ближайших «соседей», м;

$\sum_{i=1}^n L_i$  – сумма расстояний до ближайших «соседей», м;

$n$  – число стволов, шт.

Для этого все деревья на планах соединялись в камеральных условиях методом треугольников с установлением деревьев «соседей». Процент текущего прироста каждой особи вычислялся по диаметру в коре по общепринятой формуле [12]. Конкурентный вес вычисляли по формуле [13]

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{D_0}, \quad (2)$$

где  $CI$  – индекс конкуренции;

$\sum_{i=1}^n D_i$  – сумма диаметров на высоте груди ближайших «соседей», см;

$D_0$  – диаметр на высоте груди условного дерева, см.

Социальные показатели растущих деревьев и отпада определены по данным 1991 г. Таксационные показатели насаждений вычислялись с помощью «Справочника таксатора» [14]. Обработка материала производилась на ПЭВМ в электронной таблице Excel.

О динамике процессов роста можно судить по изменениям таксационных показателей представленных насаждений (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели пихтовых насаждений**

Номер	Год	Состав	$N$ , шт./га	$D_{1,3}$ , см	$G_{1,3}$ , м <sup>2</sup> /га	$H$ , м	$M$ , м <sup>3</sup> /га	$P$	$A$ , лет
1	1991	6ПЗОс1БедЕ	4650	10,2	30,63	13,4	212	1,2	40
1	2005	5П4Ос1Е	3167	14,0	35,87	16,4	315	1,3	55
2	1991	10П + Ос	2911	10,2	23,40	11,9	163	1,1	40
2	2005	9П1Ос	2411	13,5	34,29	17,8	318	1,2	55

Примечание:  $N$  – число стволов;  $D_{1,3}$  – средний диаметр на высоте груди, см;  $G_{1,3}$  – сумма площадей поперечных сечений;  $H$  – средняя высота;  $M$  – запас;  $P$  – полнота;  $A$  – возраст.

Т а б л и ц а 2

**Средние арифметические таксационные показатели формирующегося поколения**

Номер	$A$ , лет	Состав	Элемент леса	$D_{1,3}$ , см	Диаметр кроны, м	$N$ , шт./га	$G_{1,3}$ , м <sup>2</sup> /га	$M$ , м <sup>3</sup> /га
1	20	5П2Ос1Б1Е	П	8,2	3,1	600	9,88	21
			Ос	12,9	5,1	83	1,31	9
			Б	10,1	2,8	67	0,90	6
			Е	5,3	1,5	83	0,42	3
Итого					833	12,51	39	
2	20	9П1ОседК	П	8,7	1,9	434	4,15	24
			Ос	7,1	2,4	45	0,34	2
			К	4,0	1,0	11	0,01	0,1
Итого					490	4,50	26,1	

Т а б л и ц а 3

**Статистики размерных и социальных показателей растущих и отпавших деревьев**

Номер	Элемент леса	Диаметр, см			Среднее расстояние, м			Индекс конкуренции		
		$x$	$m_x$	$v$ , %	$x$	$m_x$	$v$ , %	$x$	$m_x$	$v$ , %
1	Растущие деревья									
	П	7,2	0,3	50	1,5	0,1	41	7,8	0,4	62
	Ос	12,9	1,6	69	1,8	0,3	70	5,7	0,9	74
	Б	17,5	3,0	51	1,5	0,3	49	4,0	1,5	91
	Е	6,2	0,7	52	1,5	0,1	41	10,1	1,3	57
	Отпад									
	П	6,8	0,3	52	1,4	0,1	38	8,2	0,6	65
	Ос	11,8	2,9	93	1,6	0,1	24	7,1	1,8	80
2	Растущие деревья									
	П	9,7	0,2	35	1,9	0,1	33	6,3	0,2	54
	Ос	14,6	2,3	87	2,3	0,1	31	7,1	0,9	60
	Отпад									
	П	9,7	0,4	81	1,8	0,1	48	7,0	0,5	49
Ос	20,1	3,8	75	2,1	0,2	27	7,7	1,5	62	

Примечание:  $x$  – среднее значение;  $m_x$  – ошибка среднего значения при вероятности 0,954;  $v$  – коэффициент варьирования признака.



Рис. 1. Схема динамики пихтовых насаждений как непрерывного лесообразовательного процесса

За прошедший период на первой пробной площади доля пихты в составе значительно снизилась в результате существенного изреживания.

Изменение доли осины в составе произошло вследствие значительного увеличения запаса оставшихся деревьев, однако общее их число снижается. Совместный отпад за пятнадцатилетний период составил 30 м<sup>3</sup>/га. На второй площади произошли аналогичные процессы, однако значительного изреживания не наблюдалось, но при этом запас увеличился в два раза. Отпад составил 17 м<sup>3</sup>/га.

Обобщенные таксационные показатели не дают представления об истинном процессе роста

насаждений. Для получения данных о динамике были сопоставлены планы проб с фиксацией изменений на уровне отдельного дерева.

В этом случае динамика пихтовых насаждений рассматривается как непрерывный лесоразовательный процесс с вращением подроста и формированием последующих поколений (рис. 1).

Характеристика особей формирующегося поколения приведена в табл. 2.

Необходимо отметить, что состав нового поколения соответствует главному поколению древостоя. Процесс отпада наблюдался у растений второго поколения более 50 % по числу стволов на первой пробе и около 20 % на второй пробной площади.

Мнение исследователей о том, что в стадии средневозрастности в максимально густых и высокополнотных насаждениях формирование подроста практически не происходит, опровергается.

Средние показатели деревьев отпада в сравнении с растущими особями приведены в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что размерных различий между деревьями растущими и отпадом не наблюдалось. При этом очень большая изменчивость рядов по диаметру. Все это указывает на наличие «пропорционального» отпада [15]. В горизонтальной структуре разница между параметрами деревьев также не выражена. Незначительные различия имеются только по конкурентному давлению. Растущие особи испытывают меньшую конкуренцию со стороны «соседей», чем растения отпада, особенно осины.

Сравнение по элементам леса указывает на преимущественно подпоговое развитие главной древесной породы – пихты (первый невыраженный ярус – березы и осины). Осина произрастает в более свободных пространственных условиях, чем другие древесные породы (пихта, береза, ель). По конкурентному давлению породы расположились следующим образом: ель, пихта, осина, береза. На второй пробной площади осина испытывает большее давление, чем пихта.

На рис. 2, 3 изображены ряды распределения по диаметру на высоте 1,3 м в 1991, 2005 гг. и растений отпада. За пятнадцатилетний период характер строения рядов на первой пробе менялся от унимодального к более растянутому с формированием новой точки моды на диаметре 14 см. На второй пробе изначально растянутый ряд без выраженной точки моды в динамике остается растянутым с формированием точки максимума 15–17 см.

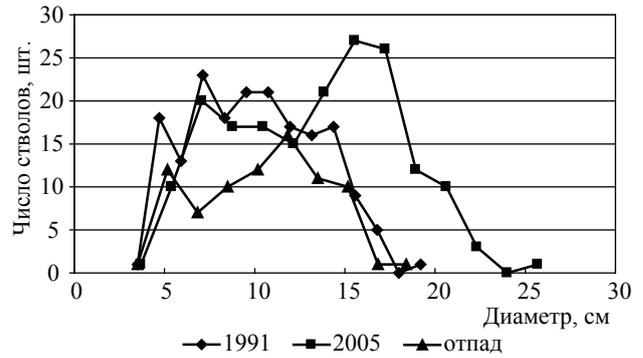


Рис. 2. Ряд распределения пихты по диаметру в динамике (площадь 2)

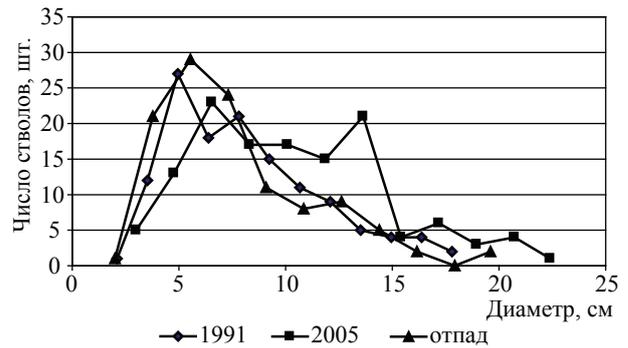


Рис. 3. Ряд распределения пихты по диаметру в динамике (площадь 1)

Строение отпада во всех случаях соответствовало рядам растущих деревьев.

Рост деревьев за любой период отражает текущий прирост. Для устранения влияния размера растений был рассчитан процент текущего прироста. Средние значения прироста по диаметру за 15 лет приведены в табл. 4.

Однородность условий местопроизрастания, горизонтальной структуры и конкурентного давления формируют и идентичный по величине прирост по диаметру деревьев. Причиной заметного различия в текущем приросте по запасу (табл. 1) является интенсивный прирост деревьев по высоте на второй пробной площади.

Для выявления пространственных и конкурентных показателей у деревьев пихты различного размера растения по диаметру были разделены на две категории: интенсивно растущие ( $d_i > d_{cp}$ ) и медленно растущие ( $d_i < d_{cp}$ ). В табл. 5 приведены статистические характеристики категорий.

Различия в социальном положении категорий деревьев пихты позволяют рекомендовать оптимальные условия для роста пихты в стадии средневозрастности при среднем расстоянии до «соседей»  $2,1 \pm 0,1$  м и конкурентном давлении  $4,4 \pm 0,2$ .

**Статистические показатели процента текущего периодического прироста (за 15 лет) по диаметру в коре**

Номер площади	$X, \%$	$m_s, \%$	$\sigma, \%$	$V, \%$	$A$	$E$
1	1,904	0,142	1,851	97	1,607	2,521
2	1,918	0,084	1,206	63	1,557	4,341

Примечание:  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $A$  – асимметрия;  $E$  – эксцесс

**Средние параметры социального положения категорий деревьев пихты по размеру (при уровне доверительной вероятности 95,4 %)**

Номер площади	Категория деревьев	Средние параметры	
		среднее расстояние, м	индекс конкуренции
1	интенсивно растущие ( $d_i > 6,8$ см)	1,7±0,1	5,5±0,4
	медленно растущие ( $d_i < 6,8$ см)	1,3±0,1	9,4±0,7
2	интенсивно растущие ( $d_i > 6,8$ см)	2,1±0,1	4,4±0,2
	медленно растущие ( $d_i < 6,8$ см)	1,9±0,1	7,9±0,4

**Средние параметры социального положения категорий деревьев пихты по текущему приросту (при уровне доверительной вероятности 95,4 %)**

Номер площади	Категория деревьев	Средние параметры	
		среднее расстояние, м	индекс конкуренции
1	интенсивно растущие ( $\Delta d_i > 1,904$ )	1,5±0,1	8,8±0,9
	медленно растущие ( $\Delta d_i < 1,904$ )	1,5±0,1	6,4±0,4
2	интенсивно растущие ( $\Delta d_i > 1,918$ )	2,1±0,1	6,2±0,4
	медленно растущие ( $\Delta d_i < 1,918$ )	1,9±0,1	6,0±0,4

**Средние значения процента текущего прироста деревьев пихты по диаметру в коре по категориям конкурентного давления**

Номер площади	Процент текущего прироста по диаметру		
	сильное давление	среднее давление	слабое давление
1	2,332 ± 0,169	2,317 ± 0,306	1,295 ± 0,142
2	2,318 ± 0,306	1,990 ± 0,128	1,785 ± 0,087

Текущее состояние деревьев устанавливалось по приросту с разделением на те же две категории: интенсивно растущие ( $\Delta d_i > \Delta d_{cp}$ ) и медленно растущие ( $\Delta d_i < \Delta d_{cp}$ ) (табл. 6). Данные табл. 6 указывают на то, что социальное положение деревьев практически не оказывает влияния на процент текущего прироста по диаметру.

Важным вопросом для темнохвойных насаждений является реакция деревьев на интенсивность конкурентного давления. В предыдущих публикациях автор [13] предлагает по конкурентному давлению разделять деревья на три категории: сильное давление (индекс конкуренции 10,1 и более), среднее давление (5,1–10,0) и слабое давление (0–5,0). В табл. 7 приведены средние значения процента текущего прироста по диаметру по категориям конкуренции.

Данные табл. 7 показывают, чем выше конкурентное давление, тем больше значение прироста. Особенно это выражено на второй пробной площади. Подобная закономерность позволяет особям второго поколения успешно произрастать и вращать в полог основного яруса.

Изучение динамики темнохвойных насаждений носит фрагментарный характер, особенно на постоянных пробных площадях.

Теория непрерывного лесообразовательного процесса подтверждается тем, что наряду с приростом растущих деревьев и отпадом наблюдается процесс вращания, когда из подростка формируются деревья последующих поколений.

Автор разделяет мнение ряда ученых о необходимости таксации поколения подростка наряду с основными ярусами в разновозрастных на-

саждениях. Переход на уровень растущего дерева позволяет выявить ряд новых закономерностей в устойчивости растений в пихтовых насаждениях.

Социальное положение дерева (среднее расстояние до ближайших «соседей» и конкурентное давление) не является критерием устойчивости деревьев, однако оказывает влияние на текущий прирост растений.

При формировании высокопродуктивных пихтовых насаждений необходимо, чтобы среднее расстояние между деревьями было около 2 м при конкурентном давлении ближайших «соседей» – 4,5.

Критериями устойчивости деревьев пихты могут являться только приростные параметры особей по диаметру и по высоте.

#### Библиографический список

1. Концепция устойчивого управления лесами Российской Федерации: Постановление коллегии от 31.07.98 №6. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1998. – 15 с.
2. Усольцев, В.В. Формирование банков данных о фитомассе лесов / В.В. Усольцев. – Екатеринбург: УРОРА, 1998. – 540 с.
3. Козловский, В.Б. Ход роста основных лесобразующих пород СССР (справочник) / В.Б. Козловский, В.М. Павлов. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 327 с.
4. Протопопов, В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса / В.В. Протопопов. – Новосибирск.: Наука, 1975. – 327 с.
5. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. – Новосибирск.: Изд-во СО РАН, 2002. – 326 с.
6. Кузьмичев, В.В. Темнохвойные леса подзоны южной тайги Западной Сибири / В.В. Кузьмичев и др. // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: мат. Всеросс. конф. – Красноярск, 2004. – с. 49-51.
7. Фалалеев, Э.Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование / Э.Н. Фалалеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 179 с.
8. Анучин, Н.П. Таксация и устройство разновозрастных лесов / Н.П. Анучин. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 63 с.
9. Разработка методов прогноза динамики пространственной структуры смешанных древостоев с использованием аэрокосмической информации : отчет о НИР / В.В. Кузьмичев. – Красноярск: СибГТУ; 1991. – 36 с. – № гр 05700022. – Инв. №2570089233.
10. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесостроительные. Метод закладки. – Введен впервые; введ. 23.05.83. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. – 16с.
11. Вайс, А.А. Горизонтальная структура пихтовых насаждений / А.А. Вайс // Вестник СибГТУ. – 2005. – №1. – С. 24–27.
12. Антанайтис, В.В. Прирост леса / В.В. Антанайтис, В.В. Загребев. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 240 с.
13. Вайс, А.А. Объемные таблицы для Среднеобских боров, созданные на основе конкурентных взаимоотношений деревьев / А.А. Вайс // Вестник СибГТУ. – 2002. – №1. – С. 35–38.
14. Лесотаксационный справочник для южнотаежных лесов Средней Сибири / С.Л. Шевелев и др. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 166 с.
15. Вайс, А.А. Динамика отпада в Среднеобских борах / А.А. Вайс, С.Г. Подвербных // Лесная таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 1992. – С. 60-67.
16. Вайс, А.А. Динамика характеристики «лучших» деревьев с учетом их горизонтальной структуры / А.А. Вайс // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 9. – Брянск: БГИТА, 2004. – С. 6–9.

## К ВОПРОСУ О ДЕГРАДАЦИИ ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Н.А. ХАРЧЕНКО, *проф. каф. экологии, защиты леса и лесного охотоведения ВГЛТА, д-р биол. наук*,  
Н.Н. ХАРЧЕНКО, *проф., начальник Учебно-методического управления ВГЛТА, д-р биол. наук*

Царством дуба называют лесоводы Центральное Черноземье. Здесь и в современный период дубравы занимают около 47 % лесопокрытой площади, тогда как по Российской Федерации их доля составляет всего 0,9 % [2]. Дубравы региона являются источником исключительно ценной крупномерной древесины; выполняют важные водоохраные и водорегулирующие функции; приостанавливают водную и ветровую эрозии; сохраняют ценные черноземы, способствуя получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

В то же время состояние дубрав неуклонно ухудшается. Фиксируется постоянное, практически по всему ареалу дуба, снижение доли высокоствольных насаждений [3]. Низкоствольные

(порослевые) дубравы имеют явно выраженные признаки деградации, что, в свою очередь, вызывает к жизни сукцессионные процессы, ведет к хозяйственному обесцениванию древостоев. Причинно-следственные связи процесса деградации порослевых дубрав, как показывает знакомство с литературой по данной проблеме, остаются все еще не раскрытыми.

Обобщая опубликованные материалы, а также опираясь на результаты собственных исследований, мы приходим к следующим выводам о природе процесса деградации порослевых дубрав.

1. На протяжении тысячелетий в дубравах целенаправленно вырубались лучшие по росту и развитию деревья [5–10, 12]. Это не могло не иметь

селективных последствий для дуба. Для любого биологического вида целенаправленный отбор по определенному признаку на протяжении многих поколений если не приводит к закреплению этого признака, то, как минимум, существенно увеличивает частоту его встречаемости. Применительно к дубравам региона – это трехтысячелетний эксперимент по отбору деревьев с наиболее слабыми ростовыми, защитными и репродуктивными способностями. Все результаты такого «опыта» еще предстоит детально оценить, но уже сейчас можно констатировать, что это привело к снижению конкурентоспособности дуба, к стагнации и даже регрессу его гомеостатических и толерантных свойств. В то же время многие виды растений, грибов, беспозвоночных и позвоночных животных и других организмов дубравной экосистемы, наоборот, ускоренно прогрессируют. Ярким примером может служить энтомокомплекс дубрав. Ни одна древесная порода не имеет такого обширного и в совершенстве структурированного сообщества дендрофагов, как дуб. По данным А.А. Молчанова [4], на дубе зарегистрировано порядка 1400 паразитирующих насекомых, в то время как на его ближайшем родственнике буке всего 298 видов. В современных дубравах региона заметно сокращается видовое разнообразие орнитофауны, земноводных, пресмыкающихся, многих видов млекопитающих. Численность семеноядных грызунов (лесная и желтогорлая мыши, лесная мышовка и др.) сокращается на фоне роста численности зеленоядных видов (рыжая, обыкновенная, водяная полевки и др.). Грибные заболевания, вызывающие некрозы крон, стволовые (ложный дубовый трутовик) и корневые (опенок осенний) гнили образуют очаги массового поражения дуба на значительных площадях. Массовое поражение опенком корневых систем, приводящее к сплошному отмиранию насаждений, стало обычным явлением даже для молодых и средневозрастных культур дуба, созданных посадкой саженцами. Таким образом, санитарное состояние дубрав региона ухудшается, провоцируя периодические волны массового отмирания дуба.

2. Мощным катализатором потери биологической устойчивости дуба стало его многократное порослевое возобновление. В природном механизме сукцессионных преобразований дубравных биогеоценозов «не предусмотрено» их порослевое возобновление. У семенного дуба уже в приспевающем возрасте ослабевает способность

к порослевому возобновлению. Способность давать поросль выработана природой, скорее всего, с целью увеличить выживаемость и конкурентоспособность молодняков, которые сильнее, чем спелый древостой, страдают от снеголома, потрав грызунами и дикими копытными животными. Экологически массовое порослевое возобновление такой долгоживущей породы, как дуб, не оправдано. Исключение половой репродукции ведет к тому, что всю набираемую в процессе оплодотворения и естественного отбора наследственную информацию «съедают» вместе с желудями мыши, сойки и другие животные, а сама древесная порода продолжает тиражировать через порослевое возобновление генетическую информацию многовековой давности. Таким образом расстраивается экосистемная сопряженная эволюция (коэволюция) и создается ситуация, при которой конкурирующие с дубом древесные породы и его паразитические организмы обгоняют, опережают в своем прогрессивном развитии «законсервированный» уровень защитных механизмов хозяина. Естественно, что уделом таких экосистем может быть только их деградация, удержать которую существующими лесохозяйственными мероприятиями, как показывает современная практика, пока не удастся.

3. Давно замечено, что дуб практически не восстанавливается семенным путем под пологом материнского древостоя. Появляющийся периодически (после урожайных лет) обильный самосев недолговечен (3–6 лет) и после серии перевершинивания превращается в «торчки» и отмирает. Причиной гибели является затенение и поражение мучнистой росой, препятствующие своевременному одревеснению стволика с последующим его зимним подмерзанием. На образующихся прогалинах и лесных редирах неблагоприятные условия для подростка дуба формируются при раннем и быстром их зарастании густым напочвенным покровом, подлесочными породами, подростом корнеотпрысковой липы и кленового самосева. Сукцессионные процессы в порослевых дубравах, достигших спелого и перестойного возраста, завершаются на настоящем этапе возникновением липово-кленовых древостоев с одинокими деревьями высокоствольного дуба.

4. Лесостепной ландшафт отличается высокой динамичностью, и это его естественное состояние. Обнаружение в почвенных разрезах под лесом «сурчин» (ходы нор крупных степных грызунов – сурков), а в степных поч-

вах «корневин»(следы давно минерализованных крупных стержневых корней) породило дискуссию о том: «лес ли наступает на степь или наоборот?». Остепнение лесных массивов и возникновение новых лесов в степи, с нашей точки зрения, следует рассматривать как единый процесс вековой динамики лесостепного ландшафта. Деграция дубравных массивов может привести через серию сукцессий к остепнению этих участков. Обладая большим репродуктивным потенциалом по опушкам леса, дуб способен заселять новые «открытые» участки степных пространств. Байрачные дубравы, возникая в наиболее благоприятных для них условиях оврагов и балок, являются начальным этапом процесса образования новых дубравных массивов лесостепи. Неслучайно наиболее крупные дубравы региона сформировались в пределах густой овражно-балочной сети (Шипов лес в Воронежской области, Шебекинская дубрава в Белгородской области и др.). Распашка открытых пространств с последующим постоянным сельскохозяйственным использованием препятствует вековым процессам динамики лесостепного ландшафта. «Лесополье» как культурная модель лесостепи ведет к длительной локализации дубравных массивов, что также провоцирует деграционные процессы в них.

5. Ряд дереворазрушающих грибов, накопив в ходе сапротрофного образа жизни запас инфекции, усилили в дубравах региона паразитическую функцию и перешли в группу организмов, активно влияющих на деграционные процессы. Процесс деграции порослевых дубрав региона представляется в виде последовательных трех этапов (начальный, активный, завершающий), характеризующихся определенным сочетанием отдельных биологических групп грибов в соответствии с их функциональной ролью в дубравных экосистемах. На начальном этапе облигатные паразиты массово представлены мучнистой росой и поперечным надломовидным раком дуба, а факультативные паразиты – группой болезней, вызывающих некроз кроны. На активном этапе деграции среди облигатных паразитов выделяются своей массовостью ложный дубовый трутовик, среди факультативных паразитов – опенок осенний, а факультативных сапрофитов – трутовик серно-желтый и печеночница. Завершающий этап деграции характеризуется обилием сапротрофных грибов. В соответствии с классификацией А.Т. Вакина (1954) они распределяются следующим обра-

зом: *сапротрофы-пионеры* – стереум пурпурный, щелевой гриб; *сапротрофы-разрушители* – разноцветный трутовик, зональный трутовичок, ирпекс молочно-белый и др.; *сапротрофы-сильные разрушители* – плоский трутовик.

Таким образом, деграция порослевых дубрав является следствием целенаправленного изъятия из древостоев на протяжении многих веков лучших по росту и развитию деревьев: нарушением коэволюции в дубравных экосистемах, спровоцированным порослевым возобновлением, длительной локализацией распашкой дубравных массивов, нарушающей вековые процессы динамики лесостепного ландшафта. Степень деграции порослевых дубрав наглядно характеризуется комплексами грибов-дереворазрушителей из различных биологических групп.

С учетом изложенного повышение долговечности и биологической устойчивости дуба требует разработки принципиально новой специальной научно аргументированной системы ведения хозяйства в дубравах лесостепи.

#### Библиографический список

1. Воронцов, А.И. Патология леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 270 с.
2. Лесной фонд России: справочник. – М., 1999. – 649 с.
3. Калининченко, Н.П. Дубравы России / Н.П. Калининченко. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
4. Молчанов, А.А. Воздействие антропогенных факторов на лес / А.А. Молчанов // Состояние и перспективы дальнейшего улучшения воспроизводства и повышения продуктивности дубрав европейской части СССР. – М.: ВНИИЛМ, 1978. – С. 23–27.
5. Новосельцев, В.Д. Дубравы / В.Д. Новосельцев, В.А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
6. Рожков, А.А. Устойчивость лесов / А.А. Рожков, В.Т. Козак. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
7. Тепляков, В.К. Лес в истории допетровской Руси / В.К. Тепляков. – М.: МЛТИ, 1992 – 79 с.
8. Успенский, В.В. Корабельные леса Черноземья / В.В. Успенский. – Воронеж: ВГЛТА, 1996. – 39 с.
9. Царалунга, В.В. Начало истребления воронежских дубрав / В.В. Царалунга // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования по управлению качеством леса и лесной продукции. – Воронеж, 2001. – С. 370–374.
10. Цветков, М.А. Изменение лесистости европейской России с конца 17 столетия до 1914 года / М.А. Цветков. – М.: АН СССР, 1957. – 213 с.
11. Цыганов, М.С. Корневины – свидетели бывшей облесенности края / М.С. Цыганов // Охрана природы Ц-Ч полосы. – Воронеж: ВГУ, – 1962. – Вып. 4. – С. 37–45.
12. Харченко, Н.А. Антропогенное изменение коэволюционных процессов в дубравах – основная причина их ускоренного отмирания / Н.А. Харченко, В.В. Царалунга // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Российской Академии естественных наук, Воронежской государственной лесотехнической академии. – Вып. 4. – Ч. 2. – Воронеж, 2002. – С. 84–88.

## ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАТОПЛЕНИЯ ЛОЖА БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Б.И. УГРЮМОВ, *проф. Братского ГУ, д-р техн. наук,*  
О.К. ДАНИЛЕНКО, *асп. Братского ГУ*

Сформированная на базе Ангарского каскада ГЭС Байкало-Ангаро-Енисейская водохозяйственная система обеспечивает потребности коммунально-бытового, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения, судоходства, лесосплава, рекреации, рыболовства и других отраслей водного хозяйства. Порождает массу противоречий совместное использование водных ресурсов Ангары и Байкала в интересах разных водопользователей и влияние регулирования стока на окружающую среду. Они обусловлены несоответствием:

- а) технологических требований различных водопользователей к зарегулированному водному режиму реки и озера;
- б) уровневых режимов водохранилищ экологическим требованиям и ограничениям;
- в) хозяйственной деятельности на акватории и побережьях реки и водоохраных требований обеспечения безопасности населения, хозяйственных объектов и угодий.

Экосистемы Ангары и Байкала за последний пятидесятилетний период претерпели значительные изменения, обусловленные главным образом антропогенным воздействием. В историческом аспекте основными признаками быстроразвивающихся деструктивных процессов в экосистеме и ухудшения качества воды были: молевой сплав леса, химическое загрязнение водоемов промышленными предприятиями Иркутска, Ангарска, Братска, Усть-Илимска, Усоля-Сибирского, Коршунихи и др., создание каскада электростанций.

Проблемы, связанные с экологической обстановкой вышеуказанных регионов, осложняются тем, что они затрагивают интересы трех субъектов Российской Федерации: Иркутской области, Республики Бурятия и Красноярского края, т.е. носят межрегиональный характер.

Кроме имеющихся на Ангаре действующих ГЭС – Иркутской, Братской и Усть-Илимской, есть еще и строящийся гидроэнергетический объект – Богучанская ГЭС. Изменение технических параметров и условий функционирования действующих ГЭС и водохранилищ в сторону

уменьшения негативного воздействия на окружающую среду практически невозможно, тогда как для проектируемых и строящихся ГЭС необходимо использовать все имеющиеся возможности минимизации ущерба природе, хозяйству и населению региона.

Проблемы, связанные со строительством гидроэлектростанций, сложны и взаимосвязаны, последствия проявляются через многие годы после завершения строительства. К основным экологическим проблемам относятся:

- эрозия береговой линии, переформирование берегов, дна, устьевых участков водоемов, впадающих в водохранилища, и поступление в водохранилища в связи с этими процессами запасов древесины;
- изменение уровня грунтовых вод, что ведет к смене гидрологического режима почв береговой полосы и, следовательно, произрастания древостоев;
- изменение качественного состава воды в водохранилище в связи с вымыванием с поверхности почв химических веществ от выбросов промышленных предприятий, а также затоплением больших объемов древесины, оставшейся вследствие некачественной или неполной лесочистки.

Повышение отметок нормального подпорного уровня приводит к активизации процессов в береговой зоне и подтоплению территорий, способствует появлению падающего леса, возникновению очагов энтомофитов и грибковых заболеваний, а вместе – к снижению рекреационных функций леса, к увеличению капиталовложений на берегоукрепительные работы.

Подъем уровня грунтовых вод после затопления водохранилища вызывает также заболачивание и засоление почв в лесостепной и степной зонах, ухудшение санитарного состояния местности.

Создание водохранилищ, сопровождающееся изменением режимов паводкового затопления земель, уровня грунтовых вод и микроклимата, приводит к изменению водного и теплового режима почв на побережьях водохранилищ, а следова-

тельно, к изменению биологических и физико-химических процессов. В совокупности изменение гидрологического режима, микроклиматических условий и почвенного покрова прибрежной территории водохранилища оказывает влияние на высшую растительность как самого водоема, так и прибрежных территорий.

Водный режим подавляющего числа типов наземных экосистем автономен и не будет зависеть от водохранилища и величины его сезонной сработки, поскольку обусловлен атмосферными осадками. Это экосистемы, занимающие склоны разной крутизны, экспозиции и протяженности, обращенные к акватории и заливам водохранилища на высотах, превышающих отметки НПУ. Лишь в узкой прибрежной полосе в десятки метров с пологими склонами, вследствие возможного капиллярного подъема влаги через водопроницаемые грунты, корневые системы растений могут использовать влагу, гидростатически связанную с уровнем водохранилища.

Для прогноза влияния водохранилища на прибрежную растительность, животный мир и дальнейшей оценки экологических последствий для Богучанского водохранилища в качестве аналога используется Усть-Илимское водохранилище. Они адекватны друг другу по геотектонике и геоморфологии, климатическим, почвенным и лесорастительным условиям, особенностям русла реки, современной и древней долинами и их обрамлению, реальным и актуальным растительности и животному миру. Строящаяся в каскаде на Ангаре БоГЭС и функционирующая рядом Усть-Илимская ГЭС и их водохранилища находятся в одной лесорастительной провинции и лесохозяйственном районе.

По сравнению с Братской и Усть-Илимской ГЭС с точки зрения оценки экологических и социальных последствий строительства и затопления территории водохранилищем в ангарском каскаде гидроэлектростанций БоГЭС находится в наиболее благоприятной социальной и экологической ситуации. Последовательный ряд крупных водохранилищ изменил все элементы лесорастительной среды в зоне, примыкающей к водохранилищам – климат, почвы, гидрологические условия и пр.

Наиболее глубоко и быстро будет изменен гидрологический режим в полосе, примыкающей непосредственно к водохранилищам. Поднимется уровень грунтовых вод, что в некоторых слу-

чаях приведет к усыханию лесов, в других – к увеличению их продуктивности. Уровень воды водохранилища, как известно, изменяется вследствие весенне-летнего водоподъема, осенне-зимнего водосброса турбинами и подготовки водохранилищ к приему весенних паводковых вод. В прибрежной зоне создается полоса временного затопления и осушения, ширина которой будет зависеть от величин колебания уровней воды и уклонов местности. На этих зонах периодического затопления-осушения лес не сможет произрастать на площадях, близких к зимнему берегу водохранилища, так как они будут освобождаться от воды лишь к концу вегетационного периода и позже. На территориях, обсыхающих в более ранние сроки, возможно произрастание некоторых древесных пород в соответствии с их экологией и гидрологическим режимом. Надо полагать, что древостои будут затопляться водами высшего уровня до распускания листьев, что несколько усилит их жизнестойкость. Насаждения сосны и ели не переносят систематического длительного затопления.

Таким образом, должны быть освобождены от леса не только ложа водохранилищ, но и прибрежные полосы, обсыхающие в осенне-зимний период, так как имеющаяся здесь древесная растительность превратится в сухостой, а заново создать насаждения не представится возможным. Только в прибрежных полосах, затопляемых весной и ранним летом, необходимо сохранить имеющиеся древостои, если их слагают поймостойкие древесные породы, или же создавать новые с учетом режима затопления и экологии пород. Эти насаждения будут защищать берега водохранилищ от волнобоя.

Долинная экосистема Богучанского водохранилища представлена высоковозрастным древостоем 180–240 лет, который к такому режиму увлажнения не в состоянии адаптироваться. Усыхание и вываливание деревьев будет происходить постепенно. Будет происходить процесс смены лесного (древесного) типа растительности на кустарничково-осочково-высокотравный. Замедление процесса смены будет обусловлено его блокированием остатками живой части древостоя. Долинная экосистема будет сильно захламлена упавшими сухими деревьями и представлять повышенную пожарную опасность, особенно весной, после высыхания отмершей травянистой растительности. В них высока вероятность воз-

никновения и распространения на прилегающие леса лесных пожаров. В случае лесосводки на периодически подтопляемой территории долины за короткое время (5–10 лет) могла бы сформироваться устойчивая древесно-кустарниковая экосистема, видовой состав которой был бы адекватен вновь сложившемуся режиму увлажнения вследствие экологической формы естественного отбора в процессе залесения территории и формирования фитоценоза.

В акваториях, где волнение наименьшее, происходит повышение уровня грунтовых вод, но отсутствует застойное увлажнение, формируются фитоценозы с преобладанием влаголюбивой растительности, способные переносить временное подтопление. Здесь могут доминировать вейник Лангедорфа, осот разнолистный, лабазник, из кустарников – спирея иволистная, рябинолистник.

При застойном увлажнении в растительном покрове на смену мезофитному разнотравью приходят крупные осоки, хорошо переносящие даже длительное затопление, из древесных распространение получает ива корзиночная. На песчаных отмелях очень часто формируются монодоминантные сообщества из горца птичьего, ромашки лекарственной, из древесных встречаются небольшие заросли ивы корзиночной. Крутые обрывистые берега, где интенсивно протекает процесс берегопереработки, обрушение берегов и сползание грунтов, обычно не зарастают, а единично появившиеся экземпляры растений, как правило проникающие с сопредельных участков, существуют короткое время.

В зоне влияния Богучанской ГЭС зафиксировано 160 видов сосудистых растений, 15 видов кустарников, 7 видов лесных мхов, 6 видов лишайников. При такой насыщенности реакция видов травянистых растений в зоне воздействия водохранилища будет различной. В большинстве случаев растения индифферентны к изменению режима увлажнения воздуха и почвы. Среди мхов в условиях периодического подтопления и даже при высоком стоянии грунтовых вод изменений также не наблюдается, но в условиях длительного застойного увлажнения произойдет замена мезофитных зеленых мхов влаголюбивыми (аулакомиум, сфагнумы). Наиболее существенно изменится лишайниковый покров.

При затоплении земель снижается видовое разнообразие нижних ярусов растительнос-

ти, но это не влечет значительных изменений структуры растительного покрова прибрежных территорий. Выпадение из напочвенного покрова лишайников в целом не изменит сложившуюся структуру растительного покрова, так как лишайниковые типы леса приурочены к определенным местам обитания и их доля составляет не более 10 % лесопокрытой площади.

Ведущим компонентом лесных экосистем является древостой, представленный многолетними древесными растениями. В условиях Приангарья наиболее долгоживущими являются сосна, лиственница и кедр, естественная продолжительность жизни которых достигает 350–400 лет. На все воздействия окружающей среды деревья реагируют изменениями величины радиального и терминального прироста. Наиболее чувствительные к экзо- и эндогенным воздействиям является радиальный прирост, или ширина годичного кольца.

Толщина годичного слоя древесины ствола отражает степень благоприятности всей совокупности факторов: радиальный и терминальный приросты, определяемые солнечно-земными связями, характер воспринимающей солнечную радиацию поверхности, осадки, уровень плодородия и влажность почвы, микроклиматические и другие локальные особенности лесорастительных условий, катастрофические и хронические природные воздействия и различная хозяйственная деятельность. Опыт показывает, что по мере увеличения исходной влажности почв прирост увеличивается все слабее, а в условиях заболачивания резко сокращается.

Иначе обстоит дело при выходе грунтовых вод на дневную поверхность в понижениях рельефа. В этом случае могут потерять прирост и усохнуть сначала сосняки суходольные, затем зеленомошники и далее сфагновые. Так, деревья зеленомошника гибнут при затоплении через 2–3 года при падении прироста на 10–20 %, в то время как в сосняке сфагновом прирост падает до 60 %, но деревья остаются живыми. Степень изменения текущего прироста в зоне подтопления падает с увеличением возраста древостоев. Наибольший прирост по высоте и диаметру дадут деревья I класса возраста. Вместе с тем увеличится количество подроста в древостоях с полнотой 0,4–0,6. В подросте сосновых лесов возрастет количество ели и лиственных пород, наметится смена сосны.

При подъеме грунтовых вод, не достигающих до корневых шеек деревьев, более выносливыми оказываются молодняки, что объясняется поверхностной корневой системой их и большей пластичностью организма к условиям среды по сравнению со спелыми древостоями. В таких условиях они усилят свой прирост.

В зоне постоянного затопления, равной 54,7 тыс. га, на лесные земли приходится 35,1 тыс. га. Это в основном покрытые лесом площади, на которых должна производиться лесосводка и лесочистка. Особенностью Богучанской ГЭС является беспрецедентно долгое строительство. На месте частей и участков ложа водохранилища, где была произведена лесосводка и лесочистка, к настоящему времени уже сформировались молодые хвойные, лиственные и хвойно-лиственные насаждения. В зависимости от давности лесосводки их высота в настоящее время составляет от 3–5 до 10–12 м, запас древесины от 20–30 до 100–120 м<sup>3</sup>/га. Эти молодые насаждения находятся в фазе интенсивного роста, их высота ежегодно увеличивается на величину до 1 м. Древесина в этом возрасте не представляет какой-либо коммерческой или товарной ценности. Практически ко времени затопления залесенность будет близка к исходной, но с существенно меньшим и малоценным запасом древесины.

В целом лесосводка и вырубка, особенно за пределами территории, прилегающей к нижнему бьефу, не была сплошной. При этом изымалась наиболее ценная, имеющая спрос у потребителя деловая древесина. После такой лесосводки большая часть площади под водохранилище Богучанской ГЭС остается залесенной. В таблице представлены основные показатели Богучанской и Усть-Илимской ГЭС и их водохранилищ.

Зоны берегопереработки и сильного подтопления с глубиной стояния грунтовых вод до

1 м, так же, как и зона постоянного затопления, нуждаются в лесосводке, поскольку древесная растительность после затопления водохранилища неминуемо погибнет и вывалится. Отличие зон берегопереработки, сильного подтопления постоянного затопления состоит в том, что погибшие и вывалившиеся деревья не всплывают и не поступают в водохранилище. Однако длительное время (30–50 лет) стволовая древесина находится в состоянии гниения и деструкции и захламляет эти зоны. Поэтому покрытые лесом зоны берегопереработки и сильного подтопления целесообразно отнести к категории площадей, нуждающихся в лесосводке (лесочистке). Их площадь составляет 3 тыс. га.

Древостой зоны затопления водохранилища Богучанской ГЭС представлен:

- сосной и елью – 50 %,
- лиственницей – 30 %,
- лиственными породами – 20 %.

Изменение гидрологического режима, микроклиматических условий и влажности почвенного покрова прибрежной территории водохранилища оказывает влияние на высшую растительность как самого водоема, так и прибрежных территорий.

Все наземные экосистемы, уходящие под постоянное затопление, обречены на гибель. В зоне постоянного затопления на лесные земли приходится 35,1 тыс. га. В зоне подтопления с глубиной стояния грунтовых вод до двух метров можно выделить периодически затопляемые и подтопляемые участки в результате сезонной сработки и пополнения водохранилища.

Одним из постоянно действующих факторов, обусловленных режимом работы гидроузла, является периодический подпор уровня воды в конце августа и сентябре в водотоках, впадающих в водохранилище.

Т а б л и ц а

**Основные показатели Богучанской и Усть-Илимской ГЭС и их водохранилищ**

Показатели и параметры	Единица измерения	Усть-Илимская ГЭС	Богучанская ГЭС		
			проектный вариант	рекомендуемые варианты на пониженных отметках	
Отметка нормального подпорного уровня (НПУ)	м	296	208	183	173
Площадь зеркала водохранилища при НПУ	км <sup>2</sup>	1922	2326	1040	618
Площадь затопляемых земель	тыс. га	154,9	149,5	59,8	33,9
В т.ч. сельскохозяйственных угодий	тыс. га	31,8	29,6	18,8	10,7
Лесопокрытая площадь	тыс. га	122,8	121,4	39,1	23,2
В т.ч. подлежащая лесочистке	тыс. га	13,7	18,2	17,5	17,1
Объем вырубаемой древесины в порядке лесосводки	млн м <sup>3</sup>	11,9	10,7	3,3	1,3

Долины и лога таких водотоков постоянно испытывают периодическое затопление и подтопление большей части корнеобитаемого слоя древесных растений. Залесненные долины и лога этих водотоков обычно не подвергаются лесосводке и очистке, либо лесосводка проводится выборочными рубками.

Долинные экосистемы данного района представлены высоковозрастными древостоями, которые к такому режиму увлажнения не в состоянии адаптироваться. Усыхание деревьев и их вываливание происходит постепенно. В районе водохранилища самой распространенной лесной породой является сосна. Согласно исследованиям [1] деревья, затопленные на незначительные глубины, в первые два года после наполнения водохранилища и затопленные на третий год на чуть больший уровень погибли уже в том же году.

Деревья, затопленные на глубину более 150 см, более угнетены, что проявляется в пожелтении хвои, особенно в нижней части кроны. Данные деревья вскоре погибнут. Даже однократное незначительное затопление (глубиной 7–17 см и продолжительностью 13–38 дней) вызывает некоторое угнетение деревьев на следующий год после затопления. Гибель сосны наблюдается в основном на второй – третий год после затопления. Ель очень мало отличается от сосны в отношении реакции на затопление. Она также легко переносит неглубокое (до 25–30 см) и непродолжительное затопление в первый год. В этом случае прирост ее несколько не уменьшается. Но при повторных, более глубоких и продолжительных затоплениях она погибает несколько раньше сосны.

Выносливость березы по отношению к затоплению неодинакова и различается в соответствии с условиями среды, в которой выросли деревья. Так, на почвах избыточно влажных и до затопления, береза переносит его дольше, чем выросшая на почвах менее влажных. Молодой подрост березы до 3–4-летнего возраста, даже при первом незначительном затоплении, почти целиком погибнет, тогда как взрослые деревья в таких условиях не имеют даже признаков угнетения в первый год. Осина очень близка березе в отношении способности к перенесению затопления. Деревья хорошо переносят первичное неглубокое и непродолжительное затопление, но погибают при вторичном затоплении на глубину более 100 см.

Упомянутые деревья, выросшие до образования водохранилища на суходолах, испытывают угнетение при повторном затоплении глубиной всего в 20–30 см и продолжительностью 60 дней и более. Гибель этих деревьев происходит со второго лета при глубине затопления 50 см в первое лето и 30 см во второе лето, при продолжительности затопления 100 дней и более в первое лето и свыше 40 дней – во второе.

Выносливость различных древесных пород к затоплению обнаруживает изменения соответственно условиям среды, в которой они произрастали. У некоторых видов это свойство изменяется в зависимости от возраста. От затопления не будет угнетения и отмирания деревьев, если:

- затопление будет кратковременным;
- затопление будет происходить до пробуждения растений от зимнего покоя или в начале этого пробуждения, до интенсивной жизнедеятельности;
- наследственность деревьев, произраставших в пойме, выработавшаяся в результате всего предшествующего развития, не была в противоречии с фактором ежегодного весеннего затопления тальными водами.

Анализ современного состояния подтопленных земель на водохранилищах Ангары свидетельствует о необходимости более адекватного их выделения и подготовки к режиму периодического переувлажнения. Важность предварительной подготовки земель обусловлена тем, что практически все виды древесных, кустарниковых, кустарничковых, полукустарничковых, травянистых растений и мхов, слагающие лесные фитоценозы, сформировали эти сообщества в иной экологической ситуации и не выносят гипоксии. Поэтому все древостои, редины и в целом аборигенную древесную растительность целесообразно рубить не только «посуху» при лесосводке, но и с воды в первые 3–5 лет после затопления.

В зоне подтопления необходимо назначать в рубку древостои, затопляемые вследствие выхода грунтовых вод в замкнуто-пониженных участках, среди них в первую очередь ельники, затем сосняки и лиственничники, и, наконец, лиственные насаждения всех эксплуатационных возрастов. Далее назначаются в рубку последовательно: спелые, приспевающие и средневозрастные насаждения ели заболоченных типов леса, затем сосны, лиственницы и лиственных пород

тех же возрастов и типов леса, которые резко снизят прирост и вряд ли могут перестроить в этом возрасте свою экологию применительно к новым условиям обитания. Затем объектом рубок главного пользования будут спелые древостои последовательно в типах леса: сложных, кисличниках, зеленомошниках, брусничниках. Рубки ухода в подтопляемых насаждениях должны носить реконструктивный характер.

Объектом ухода должны стать более устойчивые породы в смешанных молодняках, которые легче приспосабливаются к изменившемуся гидрологическому режиму и могут в дальнейшем увеличить прирост. В таких условиях в первую генерацию целесообразно воспитание лиственных древостоев. На площадях умеренного подтопления возможно и воспитание хвойных. В молодняках ели и особенно сосны для повышения продуктивности должны удаляться высоковозрастные деревья: оставленный тонкомер бывшего поколения леса, первоселы.

Негативные последствия неполной или выборочной лесосводки в ложе водохранилищ хорошо известны. Они обусловлены отмиранием затопленного леса, длительным разложением древесины, засорением берегов и акватории водохранилища и ухудшением качества воды. Экологически безопасные и чистые водохранилища невозможны без лесосводки и уборки древесной массы из их ложа, поскольку затопленный лес и древесина являются основными поставщиками биохимических загрязнителей воды.

В лесных экосистемах Приангарья после лесосводки и лесочистки происходит очень быстрое лесовосстановление и формирование молодых поколений древостоев, также интенсивно зарастают лесом неиспользуемые сельхозугодья. В приплотинной части ложа Богучанской ГЭС и на других участках, с которых начиналась лесосводка, к настоящему времени сформировались молодняки, чей ежегодный прирост составляет ориентировочно 3 м<sup>3</sup>/га.

Подсчеты показывают, что запасы древесины на залесенной части будущего водохрани-

лища за 10 лет могли увеличиться на 1 млн м<sup>3</sup>. Помимо очистки ложа водохранилища, необходимо также проводить работы по поддержанию и улучшению водоохранных и берегозащитных функций лесов.

Нецелесообразно оставлять перестойные и высоковозрастные древостои и деревья на берегах в качестве берегозащитных, особенно примыкающих к урезу воды широких частей водохранилища. Обычно такие древостои не адаптированы к ветровому режиму обширных акваторий и подвержены ветровалу, способствующему разрушению и засорению берегов. Подобные мероприятия требуются и в старовозрастных водоохранных лесах, теряющих водорегулирующие функции. Они начинают отмирать вследствие изменения гидро-термического режима почв, ветровой и радиационной ситуации опушечных зон.

В целом стратегия сведения к минимуму неблагоприятных последствий воздействия гидротехнического строительства на лесные экосистемы заключается в использовании эффектов адаптивной перестройки молодых ценозов в процессе их формирования на месте старых древостоев и естественного отбора наиболее устойчивых популяций древесных растений к изменившимся экологическим условиям.

### Библиографический список

1. Макаревич, В.Н. Несколько наблюдений над сухопутными растениями в зоне подтопления и периодического затопления Рыбинским водохранилищем / В.Н. Макаревич // Ботанический журнал. – 1956. – Т. 41. – №11. – С. 1617–1652.
2. Прогноз и оценка состояния водной и наземной экосистем и медико-биологической обстановки под воздействием Богучанской ГЭС с НПУ 185 м // Отчет СКТБ «Наука», руководитель В.Ф.Шабанов. Красноярск, 2004. – 112 с.
3. Савельев, В.А. Проблемы межотраслевых взаимоотношений при использовании водных ресурсов на Ангарском каскаде и пути их решения / В.А. Савельев, В.М. Маслов, А.А. Якимов // Проблемы комплексного использования водных ресурсов ангарских водохранилищ: Материалы 4-го международного научно-практического семинара «Управление водными ресурсами бассейна р. Ангары» (29 февраля – 1 марта 2000 г., г. Иркутск). – М., 2000. – 130 с.

## ВЛИЯНИЕ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ НА РОСТ И УСТОЙЧИВОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

М.А. КАРАСЕВА, проф. каф. лесных культур и механизации л/х работ Мар ГТУ, д-р с.-х. наук,  
К.Т. ЛЕЖНИН, асп. каф. лесных культур и механизации л/х работ Мар ГТУ,  
А.А. МАТОРКИН, асп. каф. лесных культур и механизации л/х работ Мар ГТУ

**В** комплексе мероприятий, обеспечивающих сохранение устойчивости и средостабилизирующих функций лесных экосистем, повышения продуктивности лесов, решающее значение имеет не только полное и всестороннее использование существующего плодородия лесных почв, но и разработка методов его повышения. Из существующих методов улучшения плодородия почв значительного внимания в настоящее время заслуживают биологические, которые заключаются в обогащении почвы органическим веществом с помощью почвоулучшающих растений [3, 8, 11]. К числу растений-фитомелиорантов относятся представители семейства бобовых, береза повислая и пушистая, липа мелколистная, ольха серая и др.

Целью исследования явилось изучение эффективности влияния фитомелиорантов на состояние и рост культур сосны обыкновенной, лиственницы сибирской и интенсивность основных физиологических процессов, обуславливающих их устойчивость к неблагоприятным факторам среды.

Объектами исследований служили культуры сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, созданные с введением почвоулучшающих растений: люпина многолетнего (*Lupinus L.*), ракитника русского (*Cytisus ruthenicus*), дрока красильного (*Genista tinctoria*). Изучалось воздействие фитомелиорантов на содержание гумуса и азота в почве и основных элементов питания в различных фракциях фитомассы сосны, лиственницы, интенсивность фотосинтеза, транспирации, динамика накопления органической массы в культурах.

Интенсивность фотосинтеза определялась методом ассимиляционных колб [4] и кондуктометрически [1]. Интенсивность транспирации измерялась методом быстрого взвешивания [5].

Определение содержания хлорофилла в хвое проводилось по Годневу [2]. Для оценки физиологического состояния и жизнеспособности растений определялось электрическое сопро-

тивление прикамбиального комплекса тканей (импеданс ПКТ). Установлено, что при снижении уровня жизнедеятельности, возникновении заболеваний и др., электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей существенно увеличивается, а более низкие значения этого параметра свойственны здоровым деревьям [7, 8].

Культуры сосны обыкновенной с дроком красильным и люпином многолетним были созданы в 54 квартале Нолькинского лесничества Учебно-опытного лесхоза МарГТУ весной 1994 г. на свежих среднеподзолистых супесчаных почвах ТЛУ-V<sub>2</sub>. Посадка проводилась вручную под меч Колесова в расчищенные полосы шириной 3 м по 2 ряда. Расстояние между рядами 1,5 м, в ряду 0,5 м. Густота посадки 4 500 шт./га. Межполосное пространство было равно 6,5 м. Кустарники высаживались по схеме С-к-С-к, люпин высаживался одновременно с посадкой сосны обыкновенной в середину междурядий.

В табл. 1 приведены статистические показатели высоты 5-летних культур и средние приросты в высоту сосны обыкновенной в годы, отличающиеся различным количеством осадков.

Т а б л и ц а 1

**Статистические показатели высоты 5-ти летних культур и средние приросты в высоту сосны обыкновенной**

Показатели	lim, см	$x_{cp}$ , см	$m_{x^2}$ , см	$\sigma$ , см	C, %	
Сосна обыкновенная с дроком красильным						
Высота	80–220	140,0	1,3	28,8	42,2	
Прирост	1998 г.	14–50	40,7	1,7	26,7	30,9
	1999 г.	14–48	42,0	1,2	22,8	39,6
	2000 г.	4–28	16,7	1,5	17,4	44,6
Сосна обыкновенная с люпином многолетним						
Высота	70–160	110,0	1,8	25,6	38,9	
Прирост	1998 г.	12–45	27,1	1,5	28,4	30,9
	1999 г.	10–41	21,5	1,7	23,4	44,0
	2000 г.	2–19	8,6	1,0	10,0	40,8
Сосна обыкновенная (контроль)						
Высота	40–220	118,0	1,9	22,4	45,3	
Прирост	1998 г.	10–43	26,7	1,7	20,8	53,8
	1999 г.	4–50	22,5	1,5	19,2	46,8
	2000 г.	3–30	13,2	1,1	11,3	49,2

Вегетационные периоды 1998 и 1999 гг. отмечены как периоды с достаточным количеством осадков, в 2000 г. количество осадков было ниже нормы на 25 %.

При анализе показателей средних высот и годовых приростов выявлено, что лучшие результаты дает посадка сосны с дроком красильным. Показатели приростов за предыдущие два года в культурах сосны с дроком почти в 2 раза больше, чем у сосны с люпином и на контроле. Различия по высоте деревьев в вариантах опыта сосна с люпином и сосной на контроле незначительны, что объясняется тем, что в данном случае люпин, будучи введенным в культуру в середину междурядий, пока еще не оказывает существенного положительного эффекта.

При изучении особенностей роста культур сосны обыкновенной, созданных с применением фитомелиорантов, выявлено также их положительное влияние на устойчивость к болезням и интенсивность роста.

Культуры лиственницы сибирской созданы в Нолькинском лесничестве Учебно-опытного лесхоза в ГЛУ – С<sub>2</sub>. Посадка проводилась сеянцами, по сплошной обработанной почве, вручную, под меч Колесова, с расстоянием между рядами 1,5 м, в ряду 0,5 м, в середину междурядий высевался люпин многолетний. При изучении особенностей роста 14-летних культур лиственницы сибирской и содержания основных элементов питания в почве установлено, что в культурах лиственницы с люпином произошло увеличение содержания в пахотном горизонте гумуса с  $1,66 \pm 0,03$  % до  $2,08 \pm 0,03$  % и общего азота с  $0,09 \pm 0,003$  % до  $0,013 \pm 0,002$  %, уменьшилась плотность почвы. Так, плотность сложения на глубине 10–20 см у дерново-среднеподзолистых суглинистых почв в культурах лиственницы с люпином составила  $0,9 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>, в чистых культурах –  $1,2 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>.

Введение люпина в опытные культуры способствовало не только накоплению гумуса, но и улучшению физических свойств почвы. Это его положительное качество следует учитывать при создании культур в рекреационных лесах, так как ухудшение условий роста основных лесобразующих пород здесь происходит вследствие уплотнения верхних слоев почвы и нарушения их водного, воздушного и теплового режимов. В табл. 2 приведены показатели роста культур лиственницы сибирской.

Т а б л и ц а 2

**Показатели роста культур лиственницы сибирской**

Культуры	Статистические показатели					
	Диаметр, см			Высота, см		
	$x_{cp}$	$m_x$	$C, \%$	$x_{cp}$	$m_x$	$C, \%$
Лиственница с люпином	7,8	0,18	33,4	712	7,0	16,6
Лиственница без люпина	5,7	0,19	38,7	623	12,0	24,1

Т а б л и ц а 3

**Запас абсолютно сухой фитомассы в 14-летних культурах лиственницы сибирской с люпином многолетним**

Показатели	Культуры лиственницы с люпином		Культуры лиственницы без люпина	
	т/га	% от всей фитомассы	т/га	% от всей фитомассы
Древесина ствола	37,2	33,5	34,8	38,2
Масса ветвей	19,9	17,9	16,8	18,4
Масса хвои	15,0	13,5	12,6	13,8
Отмершие ветви	1,8	1,6	1,8	2,0
Масса корней	26,4	23,6	21,6	23,8
Итого:	100,7	90,1	87,6	96,2
Масса люпина	11,0	9,9	–	–
Масса травянистой растительности	–	–	3,5	3,8
Фитомасса фитоценоза	111,7	100	91,1	100

Общий запас фитомассы в культурах с люпином на 20 % больше, чем в культурах лиственницы, где люпин не вводился. Запас фитомассы люпина в 2–3 раза выше, чем травянистой растительности в междурядьях культур без него. Запас абсолютно сухой фитомассы в 14-летних культурах лиственницы сибирской с люпином многолетним приведен в табл. 3.

До смыкания культур масса люпина была значительно больше и варьировала в пределах 30–40 т/га. После смыкания люпин стал постепенно вытесняться, и к 14-летнему возрасту культур общая фитомасса его уменьшилась до 11 т/га.

Однако после вытеснения его положительное влияние сохраняется за счет более высокого содержания в почве азота, накопленного при разложении органической массы. При оценке влияния люпина на экологические функции насаждений установлено, что аккумуляция углерода в фитомассе лиственницы с люпином многолет-

ним на 8 т/га больше, чем в культурах без люпина. Среднее ежегодное депонирование углерода, рассчитанное по параметрам накопления древесной фитомассы, составляло в культурах лиственницы с люпином 2,6 т/га в год, в культурах без люпина – 2,3 т/га в год. В то же время отмечается улучшение почвенного плодородия. С учетом массы хвои, которая у лиственницы формируется ежегодно в оптимальных условиях в количестве 5–6 т на га, продукция углерода в культурах с люпином многолетним почти на 50 % выше, чем без люпина.

При выборе фитомелиорантов необходимо учитывать эколого-физиологические особенности растений, водный режим почвы, так как при недостаточном увлажнении наблюдается конкуренция за влагу, что было отмечено в культурах сосны обыкновенной с люпином многолетним в засушливые периоды, так как это растение обладает высокой транспирационной способностью, которая достигает до 10 г/г абсолютно сухой массы (АСМ) в час. В табл. 4 приведены данные интенсивности основных физиологических процессов сосны обыкновенной и лиственницы сибирской.

Измерения интенсивности основных физиологических процессов культур проводились в июне, в период роста побегов при следующих параметрах окружающей среды: температура воздуха на открытом месте 30,2 °С, в междурядьях культур –29,2 °С; относительная влажность воздуха на открытом месте – 41 %, в междурядьях – 44 %; освещенность на открытом месте – 35 тыс. люкс, в междурядьях – 18 тыс. люкс; температура почвы на глубине 0,3 м – 11,3 °С, влажность – 12 % к абсолютно сухой массе почвы. Расчеты показателей фотосинтеза и транспирации проводили на 1 г абсолютно сухой массы вещества.

Проведенные исследования показали, что междурядная культура люпина многолетнего спо-

собствует улучшению лесорастительных свойств почвы, при этом повышается интенсивность физиологических процессов, ускоряется рост сосновых и лиственничных культур. Положительное влияние на рост сосны наблюдается при достаточном водообеспечении, так как люпин имеет очень высокую интенсивность транспирации, а в сухих условиях и при недостаточном количестве осадков отмечается конкуренция за влагу.

Дрок красильный оказывает также положительную роль на рост сосны, но в засушливые вегетационные периоды он отличается слабым ростом, а в отдельные годы усыхает, более засухоустойчив и пластичен к изменяющимся погодным условиям ракитник русский. При создании культур сосны обыкновенной в условиях сухих и свежих боров введение в качестве почвоулучшающего и почвозащитного кустарника ракитника русского дает лучшие результаты.

В чистых культурах сосны обыкновенной нередко наблюдается поражение корневой губкой (*Fomitopsis annosa*), невосприимчивость ракитника к повреждениям корневой губкой [9] и почвоулучшающие свойства позволяют считать его ценным кустарником, способствующим улучшению роста основных пород. При изучении состояния чистых сосновых культур и культур сосны с ракитником установлено, что в культурах с ракитником пораженные деревья отсутствуют. Проведенная нами диагностика состояния по морфометрическим показателям и импедансу прикамбиального комплекса тканей выявила здоровые деревья, имеющие показатели импеданса ПКТ в пределах 15 ÷ 40 кОм, что свидетельствует о нормальном водном режиме растений, а при нарушении деятельности корневых систем деревья имеют более высокие значения импеданса ПКТ, достигающие 200 кОм и более, в зависимости от степени ослабления.

Т а б л и ц а 4

**Интенсивность основных физиологических процессов сосны обыкновенной и лиственницы сибирской**

Характеристика объекта	Интенсивность фотосинтеза, мг CO <sub>2</sub> /г <sub>АСМ</sub> · ч	Общий хлорофилл, мг/г <sub>АСМ</sub>	Интенсивность транспирации, г H <sub>2</sub> O/г <sub>АСМ</sub> · ч	Влажность листьев, % к АСМ
Сосна обыкновенная на секциях с люпином	4,3	2,337	3,40	106,0
Сосна обыкновенная на секциях без люпина	3,8	2,032	3,20	103,2
Лиственница сибирская на секциях с люпином	9,2	2,680	1,63	222,0
Лиственница сибирская на секциях без люпина	7,8	2,510	1,91	218,0
Люпин в междурядьях культур	10,1	13,076	8,80	395,0
Люпин на открытом месте	20,9	13,104	14,20	538,0

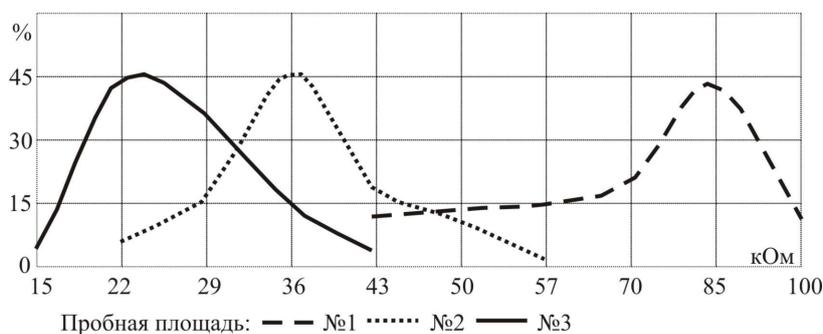


Рисунок. Распределение деревьев по ступеням импеданса ПКТ

Наибольшее количество ослабленных деревьев выявлено в чистых культурах, растущих в понижениях рельефа, на повышенных участках пораженных культур было меньше. При глазомерной оценке по состоянию кроны, хвои в очагах корневой губки было выявлено около 35 % здоровых деревьев, при применении инструментальной оценки состояния по импедансу ПКТ количество здоровых деревьев было в два раза меньше, т.е. эспресс-оценка по импедансу позволяет более точно оценивать жизнеспособность культур.

Наилучшие показатели водного режима деревьев выявлены в смешанных культурах сосны обыкновенной, произрастающих с раkitником русским. Значения импеданса ПКТ растений здесь наименьшие и варьируют в пределах 15÷40 кОм. На рисунке приведено распределение количества деревьев сосны обыкновенной от значений импеданса ПКТ.

Ракитник русский успешно произрастает на сухих и бедных песчаных почвах. Он обладает хорошо развитой корневой системой, достигающей глубины 2,0–2,5 м и ажурной кроной. Кроме того, раkitник своим опадом обогащает почву органическим веществом, азотом, зольными элементами. Содержание азота в листьях раkitника, по нашим исследованиям, составляет 1,7 %, в побегах 0,9 ÷ 1,0 %. При выращивании сеянцев лучшие результаты получены при применении пяти строчных схем посева, норма высева семян принимается около 1,5–2,0 г стандартных семян. Глубина заделки колеблется в пределах 0,5 ÷ 1,0 см, в зависимости от почвы, сочетания погодных условий, от применяемого материала мульчирования. Выход однолетних сеянцев высотой 1520 м составляет 30 шт. с одного погонного метра посевной строки.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. При выборе технологий создания культур с введением поч-

воулучшающих растений необходимо учитывать эколого-физиологические особенности фитомелиорантов. Эффективность их воздействия зависит от конкретных лесорастительных условий, схем смешения, густоты посадки, размеров посадочного материала и других факторов. Люпин многолетний оказывает положительное влияние на рост сосны обыкновенной при достаточном водообеспечении, в сухих условиях, а при недостаточном количестве осадков он выступает как конкурент за влагу и элементы питания.

Создание культур сосны обыкновенной с введением раkitника русского, дрока красильного в условиях сухого, свежего бора и свежей субори способствует улучшению условий и интенсивности роста сосны обыкновенной и повышению ее устойчивости к неблагоприятным факторам среды и болезням.

Многолетние исследования на созданных стационарах и опытно-производственных культурах разного возраста с люпином многолетним, раkitником русским, дроком красильным показали высокую эффективность данных фитомелиорантов при создании искусственных фитоценозов сосны обыкновенной, лиственницы сибирской. Их введение способствует улучшению плодородия почвы без загрязнения окружающей среды, что нередко происходит при использовании минеральных удобрений. Повышается устойчивость, продуктивность и некоторые средостабилизирующие функции искусственных насаждений.

### Библиографический список

1. Вознесенский, В.Л. Кондуктометрический прибор для измерения фотосинтеза и дыхания растений в полевых условиях / В.Л. Вознесенский. – Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1967. – 46 с.
2. Годнев, Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения / Т.Н. Годнев. – Минск, 1952. – 327 с.
3. Жилкин, Б.Д. Повышение продуктивности сосновых насаждений культурой люпина / Б.Д. Жилкин. – Минск.: Высшая школа, 1974. – 254 с.

4. Иванов, Л.А. Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе / Л.А. Иванов, Н.А. Коссович // Ботанический журнал. – 1946. – Т. 31. – № 5. – С. 3–12.
5. Иванов, Л.А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях / Л.А. Иванов, А.А. Силина, Ю.Л. Цельникер // Ботанический журнал. – 1950. – Т. 35. – № 2. – С. 171.
6. Карасев, В.Н. Влияние фитомелиорантов на физиологическое состояние культур сосны обыкновенной / В.Н. Карасев, М.А. Карасева, К.Т. Лежнин и др. // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам международной научно-технической конференции. – Вып. 10. – Брянск: БГИТА, 2005. – С. 110–113.
7. Карасев, В.Н. Информативность импеданса растительных тканей древесных растений при нарушении водного режима / В.Н. Карасев, М.А. Карасева // Структура и молекулярная динамика полимерных систем: Материалы Всероссийского совещания. – Йошкар-ола, 1995. – С. 102–104.
8. Кишенков, Ф.В. Исследование электрофизиологических характеристик состояния древесных растений / Ф.В. Кишенков, К.В. Рутковский // Лесная геоботаника и биология древесных растений. – Брянск. – 1975. – Вып. 3. – С. 53–60.
9. Незабудкин, Г.К. Некоторые вопросы биологии ракитника русского / Г.К. Незабудкин, М.А. Карасева, Л.А. Меледина // Лесная геоботаника и биология древесных растений. Тульский политехн. институт. – Тула, 1980. – С. 65–67.
10. Рывкин, Б.В. Корневая губка не страшна / Б.В. Рывкин // Лес и человек. – М., 1975. – С. 185–186.
11. Смирнов, В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1968. – 331 с.

## КОМПЛЕКСНЫЙ УХОД И ПОДЛЕСОЧНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В СОСНЯКАХ СВЕЖИХ

Л.П. БАЛУХТА, ассистент каф. лесоводства Брянской ГИТА

В нашей стране комплексный уход в лесных насаждениях приобрел популярность в 50–60-х гг. XX в. Под комплексным уходом понимается одновременное выполнение в участках леса лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение качества отдельных деревьев, насаждений и местообитаний в единстве [3]. В перечень мероприятий входили рубки ухода, внесение минеральных и органических удобрений, обрезка сучьев, фитомелиорация, разбрасывание сучьев по участку и др.

Внесенные на лесной участок минеральные удобрения распределяются между древесными растениями основного полога, подлесочным

ярусом и живым напочвенным покровом, часть их становится недоступной для растений и закрепляется в почве, часть вымывается с осадками в нижние горизонты почвы [2, 4].

Цель исследований – выявление влияния минеральных удобрений на густоту и видовое разнообразие подлеска спустя 40–45 лет после проведения комплексного ухода. Объектом исследований явились приспевающие сосновые насаждения естественного и искусственного происхождения Брянского лесного массива, где в 60-х годах проводился комплексный уход, который включал рубки ухода, обрезку сучьев и внесение минеральных удобрений.

Т а б л и ц а 1

**Варианты ухода на секциях СПП (кв. 57)**

№ секции	Способы рубок ухода	Виды удобрений	Доза на 1 га	
			удобрения	действующего вещества
1	Способ проф. П.В. Воропанова	Аммиачная селитра	160	53
		Фосфоритная мука	213	32
2	Наставление по рубкам ухода	Аммиачная селитра	160	53
		Фосфоритная мука	213	32
3	Не проводились	Аммиачная селитра	80	26
		Фосфоритная мука	106	16
4	Способ проф. В.Г. Нестерова	Аммиачная селитра	192	63
		Фосфоритная мука	213	32
5	Наставление по рубкам ухода	Аммиачная селитра	192	63
		Фосфоритная мука	213	32
6	Абсолютный контроль			
7	Комбинированная рубка	Аммиачная селитра	500	165
		Фосфоритная мука	1000	150
8	Комбинированная рубка	Аммиачная селитра	500	165
		Фосфоритная мука	1000	150

**Зависимость густоты подлеска от варианта комплексного ухода (кв. 78, СПП-3)**

Вариант комплексного ухода	Густота подлеска, тыс. шт./га
Контроль	5,3
АС 46, КС 14/46	8,4
АС 46, КС 20/68	6
АС 46, КС 26/90	6
АС 46, КС 32/112	3,9
АС 14, КС 52/180	10,9
КС 16/54	9,5

Эксперимент начал доцент кафедры лесоводства БТИ А.П. Сляднев. В насаждениях на различных лесных участках были заложены многосекционные стационарные пробные площади (далее СПП), каждая секция которых представляла собой отдельный вариант комплексного ухода (табл. 1). Для учета видового разнообразия и густоты подлеска применяли метод учетных круговых площадок ( $S = 10 \text{ м}^2$ ), равномерно распределенных по секции. Было заложено по 30 площадок в каждом варианте опыта. Расстояние между площадками определяли по формуле

$$R = \sqrt{S/N},$$

где  $S$  – площадь участка,  $\text{м}^2$ ;

$N$  – число учетных площадок.

В условиях  $C_2$  (кв. 57, тип леса сосняк липовый, 10С+Е) определяли густоту, встречаемость и видовое разнообразие подлеска на секциях с проведенным в 1963 г. комплексным уходом.

Исследования показали, что видовое разнообразие и густота подлеска в контроле и в опыте отличаются незначительно и не зависят от вида и количества внесенных удобрений. Как оказалось, в плодородных условиях внесение минеральных удобрений практически не влияет на развитие подлесочной растительности.

Т а б л и ц а 2

**Зависимость густоты подлеска от варианта комплексного ухода (кв. 90)**

Вариант комплексного ухода	Густота подлеска, тыс. шт./га
Контроль	9,7
ОС 2, АС 33	10,5
ОС 2, ФМ 65	10,4
ОС 2, ФМ 312	8,3
ОС 2, АС 33, ФМ 10	10,4
ОС 2, АС 33, КС 10/36	10,4
АС 67	6,8
АС 82	9,8
АС 90	9,8
АС 202	11
ФМ 100	10,1
КС 24/82	6
КС 27/94	8,1
АС 33, КС 5/18	11,4
АС 132, КС 17/60	10,4
АС 158, КС 21/72	7,1
АС 198, КС 26/90	5,9
АС 70, ФМ 51	7,8
ФМ 51, КС 15/51	8,4
АС 69, ФМ 22, КС 7/23	9,3

Условные обозначения: ОС – обрезка сучьев; АС – аммиачная селитра; ФМ – фосфоритная мука; КС – калийная селитра

На секциях СПП на участке  $B_2$  (кв. 90, Карачижское лесничество, рельеф равнинный, сосняк брусничный, 10С, подлесок: рябина, черемуха, жимолость, дуб низкоствольный, волчник, бересклет) комплексный уход включал внесение 3-х видов минеральных удобрений в разных дозах, обрезку сучьев и проведение рубок ухода в каждом варианте опыта. Анализ показал, что на секциях с обрезкой сучьев (ОС) и внесением аммиачной селитры (АС) и/или фосфоритной муки (ФМ) и калийной селитры (КС) наблюдается увеличение густоты подлеска по сравнению с контролем на 8,2 % (табл. 2). Лишь на секции СПП с внесением фосфоритной муки в дозе 312 кг/га д.в. густота подлеска по сравнению с контролем оказалась ниже на 14,4 %.

На секциях СПП без обрезки сучьев с внесением простых удобрений превышение густоты подлеска над контролем достигает 13,4 % ( $N_{202}$ ). На секциях с внесением калийной селитры наблюдается снижение густоты подлеска по сравнению с контролем на 16,5 %.

На секциях СПП без обрезки сучьев при внесении смешанных удобрений наблюдается увеличение густоты подлеска на 17,5 %, при более высокой дозе произошло постепенное снижение густоты подлеска до 60,8 % (5,9 тыс. шт./га) по сравнению с контролем (табл. 2).

В условиях  $B_2C_2$  (кв. 78, СПП 3, возвышенный рельеф, сосняк волосистокопытеневый, 10С, подлесок: дуб низкоствольный, ирга, черемуха, рябина) при внесении смешанных удобрений практически во всех вариантах опыта густота подлеска превышала контроль (табл. 3).

На СПП 2, кв. 78, внесение аммиачной селитры привело к увеличению густоты подлеска до 91,7 % по сравнению с контролем.

Внесение калийной селитры (табл. 4) в дозе  $N_{6,9}K_{21,6}$  кг/га вызвало увеличение густоты подлеска по сравнению с контролем на 38,1 %

(11,6 тыс. шт./га), дальнейшее повышение дозы вызвало постепенное снижение густоты подлеска на 12,7 % (7,0 тыс. шт./га). Физиологическая роль калия сводится к поддержанию благоприятных физико-химических свойств протоплазмы – ее обводненности, вязкости и эластичности [1, 4, 5]. Можно предположить, что высокая концентрация калия привела к повышению вязкости протоплазмы, снижению ее проводимости питательных веществ и, как следствие, к торможению реакций обмена веществ, процессов роста, развития, дальнейшему угнетению другими растениями и возможной гибели отдельных экземпляров подлеска.

Т а б л и ц а 4

**Зависимость густоты подлеска от варианта комплексного ухода (кв. 78, СПП-2)**

Вариант комплексного ухода	Густота подлеска, тыс. шт./га
Контроль	8,4
N <sub>6,9</sub> K <sub>1,6</sub>	11,6
N <sub>11,7</sub> K <sub>36,8</sub>	10,2
N <sub>13,2</sub> K <sub>41,5</sub>	10,2
N <sub>19,8</sub> K <sub>62,3</sub>	9,1
N <sub>20,6</sub> K <sub>64,7</sub>	7,4
N <sub>25</sub> K <sub>78,6</sub>	7
N <sub>26,9</sub> K <sub>84,6</sub>	7

При проведении рубок ухода различной интенсивности (сосняк лещиновый, подлесок: лещина, рябина, волчник, жимолость, липа) и внесении смешанных удобрений с увеличением дозы до N<sub>53</sub>P<sub>32</sub> кг/га наблюдается повышение густоты подлеска (табл. 5), при дальнейшем повышении дозы удобрения густота резко снижается. При внесении равных доз минерального удобрения на секциях густота подлеска оказалась выше в вариантах с более высокой интенсивностью рубок ухода, что объясняется разрастанием подлеска в просветах между деревьями в связи с увеличением освещенности и площади питания.

Т а б л и ц а 5

**Зависимость густоты подлеска от варианта комплексного ухода (кв. 57)**

Вариант комплексного ухода	Густота подлеска, тыс. шт./га
Контроль	18,1
АС 26, ФМ 16	11,6
АС 53, ФМ 32	10,2
АС 53, ФМ 32	10,2
АС 63, ФМ 32	9,1
АС 63, ФМ 32	7,4
АС 165, ФМ 150	7

Рассматривая показатель интенсивности ухода совместно с показателями количества деревьев на 1 га и полноты древостоя, можно сказать, что в плодородных условиях (сосняк лещиновокисличный, С<sub>2</sub>Д<sub>2</sub>) наибольшая густота подлеска, соответственно и оптимальные условия для его развития, наблюдаются в вариантах ухода 1–4 (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

**Факторы, влияющие на густоту подлеска**

№ варианта	7 (К)	4	5	6	3	1	2
Количество деревьев, шт./га	870	740	810	670	682	750	836
Полнота древостоя	1,00	0,85	0,85	0,77	0,79	0,89	0,81
Интенсивность ухода, %	5,5	24,6	25,2	29,0	31,0	32,1	34,7
Густота подлеска, тыс. шт./га	8,4	9,1	8,1	7,0	14,4	15,8	10,9

Примечание: 7(К) – контрольная пробная площадь

Можно считать, что при внесении простых (АС, ФМ) или смешанных (АС + КС и т. п.) удобрений наблюдается общая тенденция к превышению исследуемых показателей над контролем. В вариантах ухода с противоречивыми данными, например в одинаковых ТЛУ, внесение равных доз калийной селитры приводит в одном случае к повышению густоты подлеска, а в другом – к снижению, следует учитывать такие факторы среды обитания, как густота и сомкнутость древесного полога, биологические особенности видов, а также различие в морфологическом строении почвенных горизонтов (мощность гумусового горизонта, подстилаящая порода).

**Библиографический список**

1. Минеральные удобрения, их характеристика и применение в лесном хозяйстве: учеб. пособие для студентов специальности 1512 / Е.Д. Сабо, В.Д. Зеликов, А.Л. Знаменская и др. – М.: МЛТИ, 1987. – 39 с.
2. Сляднев, А.П. Комплексный способ выращивания основных насаждений / А.П. Сляднев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 104 с.
3. Комплексный уход за лесом: метод. указания к выполнению раздела курсового проекта «Комплексный уход за сосновыми насаждениями» для студентов лесохоз. фак. (специальность 1512) / А.П. Сляднев, И.С. Марченко. – Брянск: Брян. технол. ин-т., 1987. – 39 с.
4. Справочник по удобрениям в лесном хозяйстве: 2-е изд. перераб. и доп. / В.С. Победов, И.М. Булавик, Е.А. Лебедев и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 172 с.
5. Паавилайнен, Э. Применение минеральных удобрений в лесу: пер. с фин. / Э. Паавилайнен; под ред. В.С. Победова. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 92 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УРБОЛЕСОВЕДЕНИЯ В РОССИИ

Л.П. РЫСИН, *член-корреспондент РАН, Институт лесоведения РАН,*

С.Л. РЫСИН, *проф. каф. лесных культур МГУЛ, канд. биол. наук*

Характерной особенностью нашей эпохи является урбанизация – исторический процесс возрастания роли городов в жизни общества, связанный с индустриализацией и активным распространением городского образа жизни. Если в середине XIX в. в городах проживало только 2 % населения, в начале XX в. – 10 %, в 1970-х гг. – 33 %, то сейчас более 50 %. В Германии горожане составляют 94 % населения страны, в Англии и Японии – 76 %, в России и США – 74 % [6]. Предполагается, что к 2025 г. в урбанизированном мире будет жить более 60 % населения планеты. Одновременно происходит значительная концентрация населения на ограниченных площадях; в России, например, городские территории составляют в общей сложности всего лишь 0,65 % от площади страны. За последние десятилетия Московский регион, объединяющий Москву и Московскую область, стал одним из наиболее урбанизированных регионов мира. Здесь на территории меньшей 0,3 % площади Российской Федерации проживает более 10 % населения страны (около 15 млн чел.). Регион перенасыщен промышленными предприятиями и производствами: в Москве их более 2,5 тыс., в области – более 1 тыс. Промышленно-производственные зоны занимают почти пятую часть площади Москвы, что значительно больше, чем в крупнейших европейских городах [15].

В конце XIX в. был открыт общий закон смещения термодинамического равновесия, более известный под названием принципа Ле Шателье: внешнее воздействие, выводящее систему из термодинамического равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Принцип Ле Шателье предназначался для описания поведения неорганических систем, позднее он стал использоваться более широко, в том числе и для анализа систем биологических. Последние также стремятся к сохранению состояния равновесия (гомеостаза) и к его восстановлению в случае нарушения.

Природные экосистемы обладают способностью к саморегуляции, т.е. восстановлению внутренних свойств после какого-либо внешнего (природного или антропогенного) воздействия. Напротив, так называемые урбоэкосистемы (эко-

системы урбанизированных территорий) как правило не достигают состояния равновесия. Постоянно выполняемые строительные работы меняют не только рельеф, но и условия подземной среды; возникают локальные термопросадки, карстовые провалы, подтопление и т.д. Природные качества теряет почвенный покров. Промышленные предприятия и транспорт вызывают растущее загрязнение атмосферы и почвы, что, в свою очередь, пагубно сказывается на растительном и животном мире. Дополнительным фактором, имеющим существенное значение, становятся рекреационные нагрузки. Эти обстоятельства побудили сформулировать понятие «урбоэкосистемы» – природно-городской системы, состоящей из фрагментов природных экосистем, окруженных домами, промышленными зонами, автодорогами и т.д. Урбоэкосистема искусственно создается в результате деградации, уничтожения и/или замещения природных систем [16].

Говоря о урбоэкосистемах, не следует забывать о том, что термином «экосистема» принято обозначать единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные (неживые) компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии. Именно такой характер взаимоотношений между компонентами экосистемы обуславливает ее устойчивость и перспективы существования. Четверть века назад возникла идея создания «экополисов» – городов с сопряженным развитием природы и общества, и хотя реальных примеров воплощения этой идеи в жизнь пока нет, хочется надеяться, что это не утопия.

Несомненной необходимостью является сохранение на урбанизированных территориях природной биотической компоненты, в первую очередь лесных насаждений, значение которых для городского населения трудно переоценить. Лесные сообщества выполняют водоохранную и почвозащитные функции, создают более комфортные для человека мезоклиматические условия, задерживают пыль, поглощают избыток углекислого газа и насыщают воздух кислородом, являются местами отдыха горожан. Для сохранения лесных насаждений на урбанизированных тер-

риториях нужно учитывать специфику существования леса и его компонентов в условиях, не адекватных природной среде. Свои особенности должно иметь и ведение здесь лесного хозяйства. Эти задачи рассматривает **урболесоведение** – область науки о лесе, охватывающая все стороны жизни лесных насаждений в условиях города и его окрестностей. Структура и основные положения этого научного направления должны соответствовать традиционным (классическим) принципам лесоведения, но при исследованиях нужно учитывать специфику урбанизированной среды. Еще в конце XIX века В.В. Докучаев обращал внимание на необходимость детального естественно-исторического, физико-географического и сельскохозяйственного исследования С.-Петербурга и его окрестностей, для чего разработал разностороннюю комплексную программу.

Одним из ведущих направлений в урболесоведении должно быть комплексное изучение урбаногенного воздействия на лесную биоту как на организменном, так и на экосистемном уровнях. В этих условиях на растения действует сложный комплекс факторов, к числу которых относятся: загрязненность воздуха и почв, несколько иные микроклиматические условия и световой режим (неестественное вечернее и ночное освещение), изменение многих показателей почвенных условий (влажность, аэрация, плотность, твердость, водопроницаемость, загрязнение тяжелыми металлами и др.), проявляющееся в той или иной форме рекреационное воздействие.

Давно изучается влияние техногенного загрязнения воздуха и почвы на лесобразующие породы. Оно отражается на жизнедеятельности всех древесных пород, но в неодинаковой степени, тем более, что характер воздействия и качественно, и количественно может быть разным. Различны химический состав токсикантов, их концентрация, продолжительность действия и т. д. При совместном действии разных загрязнителей последствия могут быть суммарными (аддитивными), взаимно усиливающими (синэргическими) и антогонистическими. Атмосферное загрязнение затрагивает, в первую очередь, метаболические и физиологические процессы. Разрушаются ультрамикроскопические структуры клеток ассимиляционного аппарата растений, уменьшается интенсивность роста, меняется габитус, сокращается продолжительность жизни и т. д. Меняются конкурентноспособность и устой-

чивость деревьев разных пород, следствием чего может быть существенно иной характер взаимоотношений при их совместном произрастании. Проблеме техногенного влияния на лесные породы посвящена обширная литература как в нашей стране, так и за рубежом, поэтому мы не видим необходимости в обстоятельном обсуждении этой темы. Толерантность основных лесобразующих пород в условиях рекреационного лесопользования описана А.В. Абатуровым [1].

На состоянии нижних ярусов растительных сообществ особенно заметно сказывается рекреационное воздействие, которое проявляется в уплотнении верхних горизонтов почвы, в частичном или полном уничтожении растений. В результате меняются размеры и жизненность растений, интенсивность и тип размножения (семенное размножение может смениться вегетативным и т. д.). Например, типично лесной вид – копытень европейский – в деградирующих парковых сообществах приобретает формы и рост, отличные от ненарушенных условий. К их числу относятся «распластанная» форма с длинными слабоветвящимися корневищами и немногочисленными, далеко отстоящими друг от друга парами листьев (обычна при невысоком уровне деградации) и «компактная» форма с относительно короткими, многократно ветвящимися корневищами и сближенными парами листьев (возникает при значительной деградации). На интенсивное вытаптывание копытень реагирует также резким усилением семенной продуктивности [9]. Стратегия поведения и выживания различных видов растений заслуживает обстоятельного изучения, причем ответы на многие возникающие вопросы могут быть получены только с помощью стационарных многолетних наблюдений и экспериментов (например моделирование нормированных нагрузок и т. д.).

В настоящее время возрастает интерес специалистов к анализу процессов, протекающих под антропогенным влиянием. Особое внимание исследователей привлекает так называемая спонтанная (т.е. возникающая самопроизвольно) растительность городов. Этот вид растительности является составляющей автотрофного блока урбосистем, не требует материальных и трудовых затрат, играет заметную роль в поддержании городской среды, препятствует эрозии почв нарушенных местообитаний, нередко содержит в составе ценные лекарственные и редкие, нуждаю-

щиеся в охране виды. С другой стороны, в составе спонтанной растительности нередко появляются виды, вызывающие аллергические реакции у человека, а также злостные, в том числе карантинные, сорняки полей. В конечном итоге формируется своеобразная городская флора, в составе которой сокращается роль видов-аборигенов, но зато много синантропных видов, обязанных своим появлением и расселением человеку.

Состав и структура травяно-кустарничкового яруса в лесных насаждениях используются для индикации их состояния и оценки рекреационного потенциала лесопарковых ландшафтов [20]. Для большого числа видов травянистых растений (около 300) определена их толерантность к рекреационному воздействию [19, 21]. Собрана аналогичная информация относительно лишайников [4] и мохообразных [2].

Объектом исследований урболесоведения должен стать животный мир урбанизированных территорий, в частности орнитофауна. Значительная часть видов птиц, обитающих в городах и пригородах, связана с лесными насаждениями. Особый интерес представляют результаты многолетних наблюдений, отражающих динамику состава, численности и структуры орнитофауны. Выводы разных авторов далеко не всегда однозначны, хотя речь идет об одних и тех же видах. Например, К.В. Авилова и Г.С. Еремкин [3], анализируя динамику фауны птиц на территории Лесной опытной дачи МСХА им. К.А. Тимирязева за период с 1915 г., называют коршуна в числе видов, для которых характерно сокращение численности и даже исчезновение. Б.Л. Самойлов и Г.В. Морозова [23] также относят коршуна к группе наиболее «пугливых» хищных птиц. Напротив, по наблюдениям И.Л. Ирисовой [7], в Барнауле коршун, который прежде прилетал в город только для того, чтобы кормиться, теперь гнездится и к тому же очень плотно. В ЛОД МСХА численность скворца постоянно растет, а в Барнауле он исчез. В Москве численность серой вороны достаточно стабильна, а в Барнауле она быстро растет. Подобных противоречивых примеров можно привести немало, а это означает, что проблема городской орнитофауны нуждается в дальнейшем исследовании.

Даже в таком крупном городе, как Москва, в лесных сообществах сохраняются млекопитающие [8]. Если столетие назад в границах города были зафиксированы 53 вида млекопитающих,

то к настоящему времени здесь все еще остается около 40 видов, несмотря на то, что у многих из них численность и ареалы обитания значительно сократились. Исчезли крупные хищники – волк и барсук, лишь изредка удается увидеть лисицу. Сохраняются горностай, ласка, лесная куница, черный хорь. В городской части Национального парка «Лосиный остров» до сих пор живут лоси и кабаны.

Постоянным обитателем крупных лесопарковых массивов является заяц-беляк, есть и заяц-русак. Летучие мыши, которые в 40-х гг. прошлого века были довольно обычны, ныне стали очень редкими из-за того, что деградировали природные ландшафты. В некоторых лесопарках остается стабильной численность ежей, кротов, обыкновенной бурозубки. В том же Лосином острове встречаются типичные для Московского региона виды земноводных и пресмыкающихся, хотя в городских условиях они составляют одну из наиболее уязвимых групп животных, в первую очередь из-за повсеместного уничтожения необходимых для них условий местообитания [12]. Недавно опубликованная «Красная книга города Москвы» [11] дает почти исчерпывающее представление об обитающих на территории Москвы видах растений, грибов и животных, которым грозит исчезновение уже в ближайшее время.

Только в городских лесопарках, ботанических садах и парках сохраняются почвы, близкие к исходным, но даже и они испытали существенные антропогенные изменения [17]. В большинстве случаев почвы урбанизированных территорий (урбаноземы) представляют собой созданный человеком поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный в результате подсыпки, перемешивания, погребения или загрязнения материалами урбаногенного происхождения [16]. Среди основных экологических функций, выполняемых почвами, наиболее чувствительными к антропогенной деятельности являются так называемые информационные функции; они меняются уже при незначительном воздействии на среду [10].

Изменяются все физические и многие химические параметры почвы, в поверхностных горизонтах накапливаются тяжелые металлы. Специфический характер приобретает и почвенная мезофауна [5, 25], меняются микробиологические свойства почв [24]. Асфальтовое покрытие «запечатывает» дневную поверхность почвы,

существенно ограничивая ее участие как в малом биологическом, так и в большом геологическом круговоротах веществ и энергии, перевода значительную часть почв урбанизированных территорий в биологически неактивные [16].

Большое значение для понимания процессов, происходящих в лесах на урбанизированных территориях, имеет организация лесного мониторинга. Полвека назад по инициативе академика В.Н. Сукачева в опытном Серебряноборском лесничестве, частично входящем в городскую черту, были заложены первые постоянные пробные площади, сохраняющиеся и поныне. К настоящему времени продолжительность периодических наблюдений на этих стационарных участках составляет 35–50 лет. В жизни леса этот срок относительно невелик, но, тем не менее, он позволил выявить определенные динамические тенденции как естественного, так и антропогенного происхождения [18].

Уже сейчас мы имеем основания для прогноза будущего состояния лесов разного породного состава на урбанизированных территориях, но очевидно, что его достоверность будет увеличиваться при систематическом продолжении наблюдений на постоянных пробных площадях. Обязательным компонентом этих наблюдений должен быть лесопатологический мониторинг [13].

Большое значение имеет совершенствование практики ведения хозяйства в лесных насаждениях городов и их окрестностей. На урбанизированные территории нельзя автоматически переносить ставшие привычными приемы ведения лесного хозяйства, например санитарных рубок или рубок ухода, не проведя предварительно соответствующей разъяснительной работы среди населения. Лесокультурные работы должны ориентироваться на рекреационное назначение будущих лесов [22]. Нередко заходит речь об обогащении городских лесов путем возвращения ранее обитавших здесь, но уже исчезнувших видов растений. Наш многолетний опыт показал, что сделать это крайне сложно и гораздо целесообразнее принимать меры для сохранения того, что еще осталось.

За рубежом давно существует и успешно развивается «urban forestry» – направление лесоведения и лесоводства, которое включает «искусство, науку и технологию управления деревьями и лесными ресурсами в пределах города и его окрестностях в интересах обеспечения фи-

зиологических, социологических, экономических и эстетических потребностей общества» (The Dictionary of Forestry, 1998). Впервые этот термин появился в США в 1894 г., но сама концепция этой научной области стала разрабатываться значительно позже, причем как в Америке, так и в Европе. Не сразу удалось преодолеть терминологические трудности, но к настоящему времени удалось достичь взаимопонимания специалистов разных стран. Американское общество лесоводов инициировало создание рабочей группы по проблемам городского лесоводства, предложив следующее определение: городское лесоводство – это специализированная отрасль, которая занимается посадкой и выращиванием деревьев для их современного и будущего участия в социальном и экономическом развитии городов. Одна из задач – образование населения относительно роли деревьев и сопутствующих им растений в состоянии городской среды. В широком смысле областями интересов городского лесоводства являются также сохранение участков дикой природы, рекреация, ландшафтное планирование. В 1973 г. был создан комитет городского лесоводства. С 60-х годов XX века во многих лесных колледжах США и Канады читаются курсы лекций по городскому лесоводству и готовятся соответствующие специалисты.

В России урболесоведение должно занять достойное место и в теоретических разработках лесоведения, и в решении проблем прикладного значения. С нашей точки зрения, основными задачами этой научной области должны быть:

- 1) различные аспекты и механизмы урбаногенного влияния на лесную биоту (растительность, животный мир, грибы, микроорганизмы, почву);
- 2) стратегия поведения различных видов растений и животных в условиях урбанизированной среды;
- 3) урбаногенная трансформация лесных экосистем;
- 4) мониторинг лесной биоты в условиях урбанизированной среды (включая фитопатологический мониторинг);
- 5) технология ведения лесного хозяйства на урбанизированных территориях.;
- 6) технология лесовосстановительных мероприятий на урбанизированных территориях.

Нужны соответствующие учебные курсы и пособия, позволяющие готовить высококвали-

фицированных специалистов, потребность в которых несомненна.

Академик Н.Н. Моисеев [14] писал: «Человек не приспособлен к жизни в муравейнике. Эта чужеродность города природной сущности человека порождает множество разнообразных и опасных следствий. Но поскольку рост мегаполисов (гигантских городов) неизбежен, общество должно сформулировать определенную стратегию, способную, сохранив основные преимущества жизни в городах, в максимальной степени уменьшить ее негативные последствия». Научно обоснованная концепция урболесоведения должна стать важнейшей составной частью этой стратегии.

### Библиографический список

- Абатуров, А.В. Толерантность основных лесообразующих пород в условиях рекреационного лесопользования / А.В. Абатуров // Динамика и устойчивость рекреационных лесов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 25–65.
- Абрамова, Л.И., Игнатов, М.С. Мохообразные в условиях рекреационного лесопользования / Л.И. Абрамова, М.С. Игнатов // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. – М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. – С. 177–214.
- Авилова, К.В., Еремкин, Г.С. Многолетняя динамика фауны городской природной территории на примере ЛОУД МСХА им. К.А.Тимирязева / К.В. Авилова, Г.С. Еремкин // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2005. – С. 36–38.
- Бязров, Л.Г. Лишайники в лесных рекреационных насаждениях Москвы / Л.Г. Бязров // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. – М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. – С. 149–176.
- Грюнталь, С.Ю. Почвенные беспозвоночные в условиях рекреационного лесопользования / С.Ю. Грюнталь // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. – С. 215–248.
- Дементьев, Б.П. Экология и процесс урбанизации / Б.П. Дементьев // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2005. – С. 110–112.
- Ирисова И.Л. Птицы городов Алтайского края / И.Л. Ирисова // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2005. – С. 141–142.
- Карасева, Е.В., Самойлов, Б.Л., Морозова, Г.В. и др. Млекопитающие Москвы (исключая грызунов) за последние 100 лет / Е.В. Карасева, Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова, и др. // Природа Москвы. – М.: Биоинформсервис, 1990. – С. 121–141
- Карманова, И.В., Рысина, Г.П. Поведение некоторых лесных видов в нарушенных лесных сообществах / И.В. Карманова, Г.П. Рысина // Изв. РАН. – Сер.биол. – 1995. – №2. – С. 231–239.
- Колесников, С.И., Казеев, К.Ш., Вальков, В.Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Почвоведение, – 2002. – № 12. – С. 1509–1514.
- Красная книга города Москвы. – М.: АБФ, 2001. – 624 с.
- Леонтьева О.А., Семенов Д.В. Земноводные и пресмыкающиеся на территории Москвы / О.А. Леонтьева, Д.В. Семенов // Природа Москвы. – М.: Биоинформсервис, 1990. – С. 225–238.
- Мозолевская, Е.Г. Концепция мониторинга состояния насаждений и городских лесов / Е.Г. Мозолевская // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 1998. – № 3. – С. 5–13.
- Моисеев, Н.Н. Проблемы мегаполисов – их возможное будущее / Н.Н. Моисеев // Экология большого города. Альманах. – М.: Прима-пресс, 1996. – С. 8–10.
- Орлова, Д.В. Эколого-экономические проблемы развития Московской области / Д.В. Орлова // Устойчивое развитие административных территорий и лесопарковых хозяйств. Проблемы и пути их решения: материалы научно-практич. конф. 30-31 октября 2002 г. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 299–305.
- Почва, город, экология. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.
- Раппопорт, А.В. Антропогенные почвы ботанических садов, крупных городов и факторы их устойчивости / А.В. Раппопорт, М.Н. Строганова // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. – М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. – С. 249–288.
- Рысин, Л.П., Савельева, Л.И., Полунина, М.А. Опыт мониторинга городских и пригородных лесов Москвы / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева, М.А. Полунина // Вестн. моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 1999. – № 2(7). – С. 33–38.
- Рысин, Л.П., Рысин, С.Л. Рекреационная толерантность травянистых растений / Л.П. Рысин, С.Л. Рысин // Влияние рекреации на лесные экосистемы и их компоненты. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. – С. 74–131.
- Рысин, С.Л. Методология и методика изучения рекреационного потенциала лесопарковых ландшафтов / С.Л. Рысин // Мониторинг рекреационных лесов. – М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2003. – С. 115–135.
- Рысин, С.Л. Фитоиндикация рекреационной толерантности травянистых растений в городских и пригородных лесах / С.Л. Рысин // Динамика и устойчивость рекреационных лесов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 100–118.
- Рысин, С.Л. Динамика и рекреационный потенциал искусственных насаждений на урбанизированных территориях / С.Л. Рысин // Динамика и устойчивость рекреационных лесов – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 142–164.
- Самойлов, Б.Л. Влияние рекреационного лесопользования на животных / Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова // Природные аспекты рекреационного использования леса. – М.: Наука, 1987. – С. 36–70.
- Сидоренко, Н.Н. Особенности микробных комплексов городских почв / Н.Н. Сидоренко, Л.В. Лысак, П.А. Кожевин // – Вестник МГВУ – Сер. 17. Почвоведение. – 1998. – № 2. – С. 45–49.
- Стриганова, Б.Р. Животное население городских почв / Б.Р. Стриганова // Почва, город, экология. – М.: 1997. – С. 111–125.

## ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПЫЛЬЦЫ И СЕМЯН РАЗНЫХ ВИДОВ РОДА *SPIREAE* В ЮГО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ

И.В. ЛЕВИЦКАЯ, асп. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства Брянской ГИТА,  
Е.Н. САМОШКИН, проф. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БГИТА

Декоративная ценность рода *Spireae* состоит в том, что отдельные его виды начинают цвести до окончания таяния снега, т.е. в конце апреля и первой половине мая, их соцветия переносят довольно значительные заморозки [1, 2, 4], однако жизнеспособность пыльцы и семян наиболее распространенных видов изучена недостаточно.

На учетных площадках (учет. пл.) весной проводился сбор соцветий спирей иволистной и японской (г. Брянск и р.п. Красная гора Брянской обл.), осенью в дендрарии Крапивенского лесхоза-техникума (Тульская обл., относительно чистая зона) – семян спирей Билларди, Мензиса, березолистной, волосистоплодной, Бумальда, Блюме, японской.

В лаборатории пыльцу из подсушенных соцветий помещали в бюксы и хранили в эксикаторе, в холодильнике ( $t = 0...+5^{\circ}\text{C}$ ), через 3–5 дней ее проращивали в трехкратной повторности по методу «висячей» капли в термостатах ( $t$  воздуха около  $+25^{\circ}\text{C}$ ) на 10 % растворе сахара [6, 7], жизнеспособность изучали под микроскопом МБИ-6 (увеличение  $10 \times 7 \times 2,5$ ). Учет проросшей пыльцы проводили через 3 ч. Проросшими считали пыльцевые зерна, длина трубки которых была равна или больше их диаметра.

Семена проращивали по ГОСТ 13056.8–97 [3]. В лаборатории предварительно их замачивали на 24 ч в воде, затем раскладывали на влажной фильтровальной бумаге ( $t = +20...25^{\circ}\text{C}$ ). Для проращивания семена брались свежесобранные, после 1 и 2 месяцев хранения в холодильнике ( $t = 0...+5^{\circ}\text{C}$ ) и 2 месяцев хранения под снегом (в мешочках из неплотной ткани).

Перед закладкой на проращивание семена подсушивали на свежем воздухе до состояния сыпучести, проросшие учитывали на 7, 10, 15, 20 и 30 день. Существенность различия  $M \pm m$  оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента с учетом трех доверительных уровней:  $P = 95$ ;  $P = 99,0$ ;  $P = 99,9$  % [5]. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) радиоактивного фона измерялась на высоте 1 м дозиметром ДРГ – 01Т в трехкратной повторности.

Анализ показал (табл. 1), что при МЭД =  $11,33 \pm 1,667$  мкР/ч (учет. пл. 2) через 3 ч проросло только  $5,07 \pm 0,786$  % пыльцевых зерен спирей иволистной, в опыте с МЭД =  $16,00 \pm 1,547$  мкР/ч (учет. пл. 3) – в 3 раза больше, при МЭД =  $18,00 \pm 1,730$  и  $17,00 \pm 1,527$  мкР/ч (учет. пл. 1 и 5) – в 2 и 5 раз ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %), хотя МЭД увеличена по сравнению с учет. пл. 2 только в 1,5 и 1,6 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %). По-видимому, небольшое повышение радиационного фона способно стимулировать прорастание пыльцы спирей иволистной.

Интересные результаты получены при сравнении пыльцы спирей иволистной с учет. пл. 5 и 6: МЭД ( $17,00 \pm 1,527$  и  $15,00 \pm 1,154$  мкР/ч) различалась несущественно ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ), но количество проросших пыльцевых зерен на учет. пл. 6 (сквер, 6 м от дороги) в 3 раза ниже, чем на учет. пл. 5 (сквер, 10 м от дороги). На учет. пл. 1 и 4 (различие МЭД недостоверно:  $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ) количество проросших пыльцевых зерен одинаково. На учет. пл. 1 и 5, 3 и 6 с практически одинаковой МЭД ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ) количество проросшей пыльцы существенно отличается: на учет. пл. 1 (2 м от дороги) –  $9,50 \pm 3,253$  %, а на учет. пл. 5 (сквер, 10 м от дороги) – в 2,6 раза выше; на учет. пл. 6 (6 м от дороги) –  $8,00 \pm 1,154$  %, на учет. пл. 3 (8 м от дороги) – в 2 раза выше. Видимо, влияет не только радиоактивный фон, но и другие виды загрязнений, в частности выхлопные газы автомашин.

Весьма активно проросла пыльца спирей японской (учет. пл. 7 и 8): количество проросших зерен составило около 90 %.

Сразу после сбора семян самое большое их количество проросло у спирей волосистоплодной (табл. 2): на 7 день –  $31,00 \pm 3,215$  %, на 10...30 – в 3 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %).

Так же весьма активно проросли семена спирей Бумальда: на 7 день –  $25,25 \pm 3,155$  %, на 10 – в 1,8 раза, на 15 – в 2,2 раза, на 20 и 30 – в 2,4 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %). На 7 день проросло  $19,00 \pm 0,408$  % семян спирей Билларди, на 10 – показатель увеличился в 1,4 раза, на 15 – в 1,8 раза, на 20 – в 2,3 раза, на 30 – в 3,6 раза:  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %.

**Жизнеспособность пыльцы спиреи иволистой и спиреи японской после 3 ч проращивания**

МЭД, мкР/ч на 1 м от почвы	Учено зерен, шт.	Количество проросших пыльцевых зерен, %
Спирея иволистая		
Учет. пл. 1, р.п. Красная гора, школа № 1, 2 м от дороги		
18,00±1,730	308	9,50±3,253
Учет. пл. 2, р.п. Красная гора, детский сад №1, 25 м от дороги		
11,33±1,667	411	5,070±0,7860
Учет. пл. 3, р.п. Красная гора, детский сад № 2, 7 м от дороги		
16,00±1,547	295	16,43±5,227
Учет. пл. 4, г. Брянск, ул. Советская, сквер, 6 м от дороги		
19,67±1,201	823	9,73±4,460
Учет. пл. 5, г. Брянск, ул. Советская, сквер, 10 м от дороги		
17,00±1,527	140	25,0±15,50
Учет. пл. 6, г. Брянск, ул. Советская, сквер, живая изгородь, 6 м от дороги		
15,00±1,154	568	8,00 ± 1,154
Спирея японская		
Учет. пл. 7, г. Брянск, Фокинский район, сквер, 2 м от дороги		
13,33±2,728	330	93,33±1,856
Учет. пл. 8, г. Брянск, Советский район, сквер им. Ф.И. Тютчева, 8 м от дороги		
17,67±3,480	363	89,53±3,276

**Динамика прорастания семян видов спиреи**

Виды спиреи	Количество проросших семян (%) через:				
	7 дней	10 дней	15 дней	20 дней	30 дней
Сразу после сбора					
Билларди	19,00±0,408	26,00±0,577	34,67±3,179	43,00±0,527	69,67±0,882
Мензиса	11,50±1,453	60,33±2,027	60,33±2,027	60,33±2,027	69,67±0,882
Березолистная	11,57±0,577	11,57±0,577	11,57±0,577	11,57±0,577	11,57±0,577
Волосистоплодная	31,00±3,215	96,67±0,333	96,67±0,333	96,67±0,333	96,67±0,333
Бумальда	25,25±3,155	45,00±1,732	55,67±1,453	60,00±1,453	60,00±1,453
Блюме	0	0	7,66±0,333	14,33±0,333	31,33±0,667
Японская	18,55±2,652	31,22±3,768	36,57±3,981	43,85±3,801	43,85±3,801
После 1 месяца хранения в холодильнике					
Билларди	14,67±0,333	22,00±1,155	28,00±1,154	28,00±1,154	28,00±1,154
Мензиса	16,33±1,856	36,33±1,859	47,67±1,453	72,67±3,112	72,67±3,112
Березолистная	12,00±0,577	12,00±0,577	12,00±0,577	12,00±0,577	12,00±0,577
Волосистоплодная	10,33±1,202	22,00±2,309	28,33±0,882	43,00±2,082	43,00±2,082
Бумальда	26,67±6,001	42,33±4,702	71,00±8,208	85,33±9,938	85,33±9,938
Блюме	0	0	12,33±3,712	18,55±2,652	18,55±2,652
Японская	18,56±2,658	31,45±3,678	36,55±2,652	43,80±3,800	43,80±3,800
После 2 месяцев хранения в холодильнике					
Билларди	20,00±0,577	24,33±1,202	35,00±1,155	64,33±1,202	64,33±1,202
Мензиса	8,66±2,728	55,00±7,57	97,33±1,202	97,33±1,202	97,33±1,202
Березолистная	24,33±1,202	34,67±0,882	63,67±1,856	85,33±2,028	85,33±2,028
Волосистоплодная	16,00±4,000	70,67±5,696	98,00±1,1547	98,00±1,155	98,00±1,155
Бумальда	30,67±4,372	69,67±0,333	93,67±3,482	93,67±3,480	93,67±3,480
Блюме	2,33±1,333	20,67±10,171	63,67±10,269	89,67±3,179	89,67±3,179
Японская	36,42±1,725	70,25±8,663	96,42±0,583	96,42±0,583	96,42±0,583
После 2 месяцев хранения под снегом					
Билларди	19,00±1,527	24,00±1,155	37,00±1,528	70,00±0,577	70,00±0,577
Мензиса	71,33±3,283	79,33±1,333	92,00±1,00	92,00±1,00	92,00±1,00
Березолистная	26,33±0,882	36,67±0,882	65,67±0,882	88,67±0,882	88,67±0,882
Волосистоплодная	91,33±4,485	97,67±1,202	97,67±1,202	97,67±1,202	97,67±1,202
Бумальда	32,67±4,372	68,67±0,333	94,67±3,480	94,67±3,480	94,67±3,480
Блюме	35,33±0,882	63,00±3,215	93,00±2,082	93,00±2,082	93,00±2,082
Японская	50,33±5,097	82,25±4,915	96,08±0,584	96,08±0,584	96,08±0,584

Менее активно прорастали семена спиреи японской: на 7 день – только  $18,55 \pm 2,652 \%$ , на 10 – больше в 1,7 раза, на 15 – в 1,9 раза, на 20 и 30 – в 2,4 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ ), однако количество проросших семян не превысило 44 %. По-особому прорастали семена спиреи Мензиса: на 7 день – только  $11,50 \pm 1,453 \%$ , на 10–20 – в 5,3 раза больше, на 30 – в 6 раз:  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ . Слабо прорастали семена спиреи березолистной (на 7...30 день – лишь  $11,57 \pm 0,577 \%$ ), спиреи Блюме начали прорастать только на 15 день ( $7,66 \pm 0,333 \%$ ), но на 20 – показатель возрос в 1,9 раза, на 30 – в 4,1 раза:  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ .

После месячного хранения в холодильнике весьма активно прорастали семена спиреи Бумальда: на 7 день –  $26,67 \pm 6,001 \%$ , на 10 – больше в 1,6 раза, на 15 – в 2,7 раза, на 20 и 30 – в 3,2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); сразу после сбора – на 20 и 30 день проросло в 1,4 раза меньше. Слабее прорастали семена спиреи Мензиса: на 7 день –  $16,33 \pm 1,856 \%$ , на 10 – в 2,2 раза больше, на 15 – в 2,9 раза, на 20 и 30 – в 4,5 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); сразу после сбора – на 20 день в 1,2 раза ниже. Еще слабее прорастали семена спиреи волосистоплодной: на 7 день – только  $10,33 \pm 1,202 \%$ , на 10 – больше в 2,1 раза, на 15 – в 2,7 раза, на 20 и 30 – в 4,2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ ), но сразу после сбора проросло на 10 день в 4,4 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ): эксперимент следует продолжить, чтобы окончательно решить вопрос о целесообразности хранения в холодильнике семян этого вида. По-особому прорастали семена спиреи Билларди: на 7 день –  $14,67 \pm 0,333 \%$ , на 10 – показатель возрос в 1,4 раза, на 15...30 – в 1,9 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); сразу после сбора – на 20 день – в 1,5 раза, на 30 – в 2,5 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), т.е. семена этого вида нецелесообразно хранить в холодильнике, можно сеять сразу. Семена спиреи березолистной и японской прорастают одинаково, сразу после сбора и месячного хранения в холодильнике, поэтому их рекомендуется сеять непосредственно после сбора. После 1 месяца хранения в холодильнике только на 15 день начали прорастать семена спиреи Блюме ( $12,33 \pm 3,712 \%$ ), на 20 и 30 день всхожесть возросла в 1,5 раза, однако сразу после сбора всхожесть на 30 день была в 1,7 раза выше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ ).

После двух месяцев хранения в холодильнике семена в целом прорастали более актив-

но. Однако семена спиреи Мензиса прорастали слабо: на 7 день – всего лишь  $8,66 \pm 2,728 \%$ , на 10 – в 6 раз больше, на 15...30 – в 11 раз; после 1 месяца хранения – только в 1,3 раза ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), сразу после сбора – еще слабее. После 2 месяцев хранения семена спиреи березолистной прорастали активнее: на 7 день –  $24,33 \pm 1,202 \%$ , на 10 – в 1,4 раза больше, на 15 – в 2,6 раз, на 20 и 30 – в 3,5 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), а после 1 месяца хранения и сразу после сбора – в 7 раз меньше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ). Семена спиреи Билларди после 2 месяцев хранения в холодильнике прорастали слабо: на 7 день –  $20,00 \pm 0,577 \%$ , на 10 – в 1,2 раза больше, на 15 – в 1,75 раза, на 20, 30 – в 3,2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); после одного месяца хранения в холодильнике проросло на 30 день только  $28,00 \pm 1,154 \%$  ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), а сразу после сбора на 30 день –  $69,67 \pm 0,882$ , т.е. семена спиреи Билларди можно высевать свежесобранными. После 2 месяцев хранения в холодильнике на 7 день проросло  $16,00 \pm 4,000 \%$  семян спиреи волосистоплодной, на 10 – в 4,4 раза больше, на 15...30 – в 6 раз ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); после 1 месяца хранения в холодильнике – в 2,3 раза меньше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), сразу после сбора семена также активно прорастали: на 15 день –  $96,67 \pm 0,333 \%$ . После 2 месяцев хранения на 7 день семена спиреи Бумальда проросли на  $30,67 \pm 34,372 \%$ , на 10 – в 2,3 раза, на 15–30 – в 3 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), после 1 месяца хранения на 20 и 30 день – в 1,1 раза меньше ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95 \%$ ), сразу после сбора на 20 и 30 день – в 1,5 раза меньше ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95 \%$ ). Очень плохо прорастали семена спиреи Блюме: на 7 день – только  $2,33 \pm 1,333 \%$ , но на 10 день – практически в 9 раз больше, на 20 и 30 день количество проросших было  $89,67 \pm 3,179 \%$  ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); после 1 месяца хранения в холодильнике на 20 и 30 день проросло в 4,8 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ), а сразу после сбора на 30 день – в 3 раза меньше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ). На 7 день после 2 месяцев хранения в холодильнике весьма активно проросли ( $36,42 \pm 1,725 \%$ ) семена спиреи японской, на 10 – в 2 раза, на 15...30 день – в 2,6 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ); после 1 месяца хранения в холодильнике и сразу после сбора на 20 и 30 день – в 2,2 раза слабее ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9 \%$ ).

После 2 месяцев хранения под снегом на 7 день не весьма активно ( $19,00 \pm 1,527 \%$ ) проросли семена спиреи Билларди, на 10 день – в 1,2 раза

( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95\%$ ), на 15 – в 2 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99\%$ ), на 20 и 30 – в 3,7 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ). После 1 месяца хранения в холодильнике на 30 день проросло семян в 2,5 раза, после 2 месяцев – в 1,1 раза меньше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), сразу после сбора на 30 день –  $69,67 \pm 0,882\%$ , т.е. семена спиреи Билларди целесообразно высеять свежесобранными, либо после 2 месяцев хранения под снегом. Бурно прорастали после двухмесячного хранения под снегом семена спиреи Мензиса: на 7 день –  $71,33 \pm 3,283\%$ , на 15...30 день –  $92,00 \pm 1,00\%$  ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99\%$ ). Семена спиреи березолистной отличались меньшей активностью: на 7 день проросло – только  $26,33 \pm 0,882\%$ , на 10 – в 1,4 раза, на 15 – в 2,5 раза, на 20 и 30 – в 3,4 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ). Высокий эффект прорастания показали семена спиреи волосистоплодной: на 7 день –  $91,33 \pm 4,4485\%$ , на 10...30 –  $97,67 \pm 1,202\%$ ; так же хорошо прорастали семена этого вида и после 2 месяцев хранения в холодильнике, после 1 месяца хранения на 30 день проросло в 2,3 раза меньше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ). Семена этого вида спиреи для лучшей всхожести нужно сеять сразу после сбора, можно хранить 2 месяца под снегом или в холодильнике. После 2 месяцев хранения под снегом на 7 день проросло  $32,67 \pm 4,372\%$  семян спиреи Бумальда, на 10 – в 2,1 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ), на 15...30 – в 3 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ). Примерно также прорастали семена спиреи Блюме: на 7 день –  $35,33 \pm 0,882\%$ , на 10 – в 1,8 раза, на 15...30 – в 2,7 раза больше.

Семена спиреи японской на 7 день проросли на  $50,33 \pm 0,882\%$ , на 10 – в 1,6 раза, на 15...30 – в 1,9 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9\%$ ).

Следовательно, семена спиреи Мензиса, березолистной, Бумальда, японской для лучшей всхожести нужно 2 месяца хранить в холодильнике либо под снегом, спиреи Блюме лучше всего прорастают после 2 месяцев снегования. Семена спирей Мензиса, Бумальда, Блюме, японской активно прорастают (через 15 дней) после 2 месяцев снегования, волосистоплодной – сразу после сбора, а также хранения в течение 2 месяцев под снегом или в холодильнике, Билларди – сразу после сбора.

Полученные результаты рекомендуется учитывать при выращивании сеянцев различных видов спиреи.

### Библиографический список

1. Булыгин, Н.Е. Дендрология: Учеб. для вузов по специальности лесное и лесопарковое хоз-во, 2-е изд./ Н.Е. Булыгин, В.Т. Ярмишко. – СПб: Наука, 2001. – 528 с.
2. Галактионов, И.И. Декоративная дендрология: Учеб. пособие для лесохозяйственных специальностей вузов / И.И. Галактионов. – М.: Высшая школа, 1967. – 314 с.
3. ГОСТ 13056.8-97. Семена деревьев и кустарников, метод определения всхожести – М., 1997.
4. Деревья и кустарники СССР. – Т. III. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 281 с.
5. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
6. Паушева, З.П. Практикум по цитологии растений. Изд. 4, перераб. и доп. / З.П. Паушева – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
7. Пятницкий, С.С. Практикум по лесной селекции / С.С. Пятницкий. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 271 с.

## ЗАЯЦ-РУСАК В ДАГЕСТАНЕ

С.А. ПЛАКСА. *ст. преподаватель каф. лесного хозяйства ДГУ*

**В** Дагестане из зайцев обитает один вид – заяц-русак (*Lepus europaeus Pallas, 1778*). На Северном Кавказе его биология изучалась в основном в равнинной части: в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях [1–9]. Дагестан тогда не попал в сферу этих научных работ. С 1986 по 2005 г. в ходе подготовки диссертационной работы в Дагестане автором были проведены специальные исследования по зайцу-русaku.

При изучении биологии русака использовались методы анкетирования, наблюдений в природе [8], а также метод корреляционного анализа по программе /документации StatSoft, Inc. (2001).

STATISTICA, версия 6. www.statsoft.com. Изучение питания производилось через исследования содержимого желудков ( $n = 65$ ) и составу поедой ( $n = 550$ ). Размножение русака по природным зонам Дагестана, избирательность добычи, влияние хищников изучались методами анкетирования, ( $n = 225$ ) и собственных наблюдений. Для определения плотности русака по природным зонам Дагестана в период 1986–2004 гг. были произведены учетные работы русака по утвержденным Главхотой РСФСР методикам. Для выявления реальной численности зайца за период 1936–2004 гг., по разработанной автором специальной методике, на основании данных заготовок и с учетом коэф-

фициентов добычи в спортивных целях, проведена экспертная оценка его поголовья.

Выяснено, что по основным морфологическим характеристикам заяц-русак, обитающий на территории Дагестана, существенно не отличается от русаков из других регионов. Самый крупный из известных нам зайцев добыт в Левашинском районе (вес 7 кг). Самые мелкие русаки обитают на альпийских лугах в высокогорной зоне и на солончаковых участках низменности (средний живой вес соответственно 2,5 и 3,5 кг). Осенняя линька русака на равнине обычно приходится на октябрь-ноябрь. В высокогорьях она происходит раньше почти на месяц. Сроки линьки зависят от погодных условий.

Заяц-русак распространен практически на всей территории, в диапазоне высот от – 28 м ниже уровня мирового океана на приморских низменностях до 3550 м над уровнем моря в высокогорьях. Обитает он во всех выделенных нами 47 стациях, за исключением водных (водоемы и сильно заболоченные участки), субнивальных и нивальных (скалы и осыпи высокогорий). Площадь ареала русака в республике составляет 3848 тыс. га, в том числе на низменность приходится 49 % площади ареала, на предгорья – 17 %, внутригорную зону – 20 % и высокогорья – 14 %. В общей структуре ареала преобладают открытые угодья – 90 %, леса и кустарники составляют 9 %, окраины сухих тростниковых зарослей – 1 %. Доля лесных и кустарниковых угодий выше в предгорьях (20 %) и высокогорьях (18 %) и ниже на низменности (3 %) и во внутригорной зоне (9 %).

Определено, что русак в Дагестане поедает 122 вида растений из 38 семейств. Предпочитает виды из семейств злаковых (16 %), розанных (13 %), бобовых (11 %), сложноцветных (10 %), крестоцветных (4 %) и маревых (3 %). Остальные 47 % видов растений из рациона зайцев включают 32 семейства.

Наибольшим разнообразием растительных кормов для русака отличается предгорная зона Дагестана – 115 видов, далее идут низменная – 101, внутригорная – 84 и высокогорная – 53. Разнообразие кормов варьирует: зимой – 56 видов растений, весной – от 50 в марте до 80 в мае; летом – 84, осенью – 91. В снежный зимний период увеличивается число древесно-веточных кормов, к лету – зеленых растительных и к осени, наряду с травянистыми, в рационе появляются плоды и ягоды. Наиболее излюбленным и массовым кор-

мом русака являются травянистые растения, из сельхозкультур – люцерна.

В условиях отгонного животноводства основным пищевым конкурентом русака является домашний скот. Установлена высокая отрицательная корреляционная связь численности зайца и скота в РД ( $r = -0,5, p = 0,001$ ).

Наивысшими показателями размножения зайца в Дагестане характеризуется низменная зона (репродуктивный период – 10 мес.; всего 4 помета; среднее число молодых – 3,5 гол.; детенышей за год на самку – 9–12 гол.), далее идут предгорная (9 мес., 2–3 помета, 3,2 гол., 10 гол.), внутригорная (7 мес., 2–3 помета, 2,9 гол., 7 гол.), и высокогорная зоны (4 мес., 1–2 помета, 3,5 гол., 5 гол.). Снижение общих показателей размножения с подъемом в горы происходит по причине ухудшения климатических факторов. Сравнение числа выводков и количества детенышей в низменной и высокогорной зонах позволяет предположить, что с увеличением числа выводков происходит уменьшение их среднего размера. Такая закономерность отмечена и в других регионах.

Период размножения русака в Дагестане растянут по сравнению с более северными регионами и продолжается с января по ноябрь. Первый приплод у зайцев в Дагестане (на низменности) бывает в марте, а иногда и феврале (при теплой зиме). Второй – в середине мая, третий – конце июня. Четвертый приплод в сентябре. В высокогорной зоне в долинах рек Бежтинской котловины число выводков зайца составляет 2–3, на субальпийских лугах 1–2, альпийской зоне 1 выводок. Первые выводки здесь бывают только в мае-июне.

Эмбриональная смертность у зайца в Дагестане ( $n = 18$ ) составляет до 17 % весной и до 29 % летом. К сентябрю на одну взрослую самку русака приходится до трех зайчат. Отход сеголетков к осени составляет в среднем 62 %.

Основное поголовье русака обитает на низменности (62 %), затем идут внутригорная зона (17 %), предгорная (16 %), и высокогорная (5 %). Наивысшие средние многолетние плотности зайца на низменности – 16,5 особей на тыс. га (макс. 21,4), в предгорной зоне – 13 (макс. 16,4), внутригорной – 10,8 (макс. 16,7) в высокогорной зоне – 4,9 (макс. 7,9). Таким образом, отмечается снижение плотности обитания русака с повышением высоты. Показатели плотности русака по стациям обитания варьируют от 1 до 110 особей на тыс. га (табл. 1).

**Осенняя плотность русака по различным станциям обитания Дагестана**

Зоны	Показатели плотностей по станциям, особ./тыс.га		Показатели плотностей по станциям, особ./тыс. га	
	станции	плотность	станции	плотность
Низменная зона	Приморские бугристые пески	75–110	Поймен. дубово-тополевого лес	10–20
	Виноградные плантации	80–110	Тамарисковые заросли	15–25
	Посевы зерновых	60–80	Садовые культуры низменности	15–20
	Посевы кормовых	50–70	Акациевые культуры	10–15
	Сухая разнотрав.-злаковая степь	50–60	Солончаковая полупустыня	5–10
	Польная полупустыня	40–50	Пойменные ивовые заросли	5–8
	Разнотравно-злаковые луга	30–40	Приплавневые дельтовые луга	5–6
	Ногайская песчаная пустыня	25–35	Низменный дубово-берестов. лес	3–5
Предгорная зона	Лоховые заросли	25–35		
	Виноградные плантации	70–90	Садовые культуры гор	12–15
	Посевы зерновых	60–70	Предгорный шибляк дубовый	10–15
	Посевы кормовых	50–60	Посевы корнеплодов гор	10–12
	Лесные поляны	50–60	Горный дубово-грабовый лес	5–8
	Предгорные луга	45–60	Горный буково-грабовый лес	3–6
	Сухая разнотрав.-злаковая степь	45–50	Горный дубово-сосновый лес	3–6
	Среднегорные послелесные луга	40–45	Горный поймен. ольховый лес	3–6
Внутригорная зона	Предгорная кизиловая дубрава	15–20	Предгорн сосново-можжевелов. лес	3–5
	Посевы зерновых	55–65	Ксерофитные степи	5–10
	Разнотравно-бородачевые степи	45–50	Горный дубово-сосновый лес	5–8
	Среднегорные послелесные луга	40–45	Горный поймен. ольховый лес	3–6
	Типчаково-польные степи	15–25	Горный буково-сосновый лес	3–5
	Среднегорные степи	15–20	Горный сосновый лес	2–3
	Нижнегорные субальпийск луга	10–15	Сосновые культуры гор	2
	Посевы корнеплодов гор	10–15		
Высокогорная зона	Садовые культуры гор	10–12		
	Разнотравно-бородачевые степи	60–65	Высокогорный березовый лес	3–5
	Посевы зерновых гор	40–45	Березов. – рододендрон. заросли	3–5
	Верхнегорные субальпийские луга	15–20	Горный буково-сосновый лес	3–4
	Нижнегорные субальпийские луга	10–15	Горный березово-сосновый лес	2–4
	Садовые культуры	10–12	Горный сосновый лес	2–3
	Альпийские луга	5–8	Сосновые культуры гор	2
	Ксерофитные степи	5–10	Скальный сосновый лес	1–2
Горный дубово-сосновый лес	5–8			

Т а б л и ц а 2

**Средние показатели половозрастной структуры популяций зайца-русака и уровня его воспроизводства в Дагестане**

Природные зоны	Удельный вес взрослых самок, %	Удельный вес взрослых самцов, %	Удельный вес сеголетков к зиме, %.	Прирост к весенней численности, %
В целом по Дагестану	46	54	58	138
в т.ч: низменная зона	44	56	57	132
предгорная зона	45	55	57	135
внутригорная зона	50	50	60	150
высокогорная зона	47	53	58	141

Наилучшими станциями обитания русака являются виноградные плантации и приморские бугристые пески. Численность русака в Дагестане имеет зависимости от площадей сельхозугодий (посевы зерновых, люцерны и виноградники) и наиболее наглядно проявляется при доле сельхозугодий не менее 20 %.

К весенне-летним станциям размножения в Дагестане относятся посевы зерновых культур

и кормовых трав (49 % встреч летом), польные полупустыни (71 %), лоховые заросли (65 %), солончаковые полупустыни (74 %), а в горных зонах предгорный шибляк дубовый (95 %), среднегорные послелесные луга (86 %), предгорные кизилловые дубравы (67 %), верхнегорные (100 %) и нижнегорные субальпийские луга (100 %), альпийские луга (100 %), ксерофитные степи (74 %). Зимовочными осенне-зимними

станциями являются приморские бугристые пески (63 % встреч зимой), виноградные плантации (83 %), озимые посевы зерновых (51 %), разнотравно-злаковые луга (85 %), ногайская песчаная пустыня (52 %), приплавневые дельтовые луга (51 %), пойменный дубово-грабовый лес (100 %), тамарисковые заросли (100 %), садовые культуры (78 %), горный дубово-грабовый лес (54 %), сухая разнотравно-злаковая степь (93 %), разнотравно-бородачевые степи (93 %), типчково-попынные степи (88 %).

Отдельные станции посещаются зайцами почти одинаково и летом и зимой. К ним относятся посевы озимых и яровых культур (летом 49 %, зимой 51 %), ногайская песчаная пустыня (48 %, 52 %), приплавневые дельтовые луга (49 %, 51 %) и горный дубово-грабовый лес (46 %, 54 %).

Зайцы-русаки хотя и относятся к оседлым видам, но в течение года кочуют из одних станций в другие. При благоприятных климатических условиях их межсезонные перемещения ограничены 2–3 станциями обитания в пределах индивидуального участка. На равнине сезонные перемещения сводятся к кочевкам из летних станций в зимние, но имеют меньшую амплитуду, чем в горах.

Индивидуальные участки русака в низменном Дагестане имеют диаметр 5–6 км и 3–4 км в горах. В среднем индивидуальный участок занимает от 30 га в горной местности до 330 га на низменности, но постоянно используется только 20–70 га.

Соотношение полов у русака в Дагестане выявлено анализом показателей изъятия половых групп при всех видах охот ( $n = 225$ ) и в среднем составляет 1,2 : 1: на низменности – 1,3 : 1; в предгорьях – 1,2 : 1; во внутригорной зоне – 1 : 1; высокогорьях – 1,1 : 1. Опираясь на цифры показателей соотношения полов, размножения и отхода молодняка к осени, произвели расчет доли сеголетков и уровня прироста численности (табл. 2).

Преобладание сеголетков свидетельствует об удовлетворительном состоянии популяций зайца, а преобладание самцов может ограничивать воспроизводство. Такой половозрастной состав популяции позволяет русаку сегодня противостоять высоким антропогенным нагрузкам.

Согласно проведенной экспертной оценке поголовья русака, его максимальная численность (200 тыс. особ.) отмечена в 1937 г. и минимальная (11 тыс. особ.) в период глубокой депрессии 1975 г. В настоящее время популяция русака на-

ходится в фазе затухающей депрессии и ее численность в Дагестане составляет 41 тыс. особ.

В динамике численности выявлены как долговременные, так и кратковременные флуктуации. С 1936 по 2005 гг. в Дагестане было 5 периодов долговременных флуктуаций со средней периодичностью 15 лет (7–20). Периоды подъемов продолжительнее периодов спадов в 1,4 раза, однако их амплитуда в то же время ниже в 1,7 раз. За тот же период в динамике численности русака в Дагестане произошло 17 кратковременных повышений (пиков) со средней периодичностью 6 лет (рисунок).

Исследовано воздействие на популяции различных факторов и прежде всего климатических. За период 1936–2003 гг. в республике отмечено 15 % суровых, 12 % холодных, 17 % аномальных, 31 % нормальных и 25 % теплых зим. После суровых зим в 80 % случаев наблюдалось падение осенней численности русака. После холодных осенняя численность сокращалась только в 38 % случаев, а аномальных – в 36 %. При нормальных условиях зим подъем численности или ее стабилизация наблюдалась в 48 %, а в 52 % – снижение.

В горной части снег является наиболее губительным для молодняка русака. Выявлена взаимосвязь репродукции зайца и экологического фактора – снежности территории по природным зонам. Критической глубиной снега в горных условиях Дагестана является 30 см.

Путем многолетних наблюдений определено, что в условиях минимального воздействия других факторов нижним пределом оптимума для выживаемости первого помета зайца является понижение среднемесячной температуры в марте ниже +2 °С. Благоприятные климатические условия в весенний период способны в определенной степени компенсировать и выровнять отрицательное воздействие предшествующей суровой зимы на популяции русака.

Повышенная влажность в совокупности с высокими летними температурами повышает смертность молодняка от кокцидиоза. При среднегодовой влажности более 77 % и сумме июльских и августовских температур выше 46 °С наблюдается сокращение осеннего поголовья русака. Климатические факторы воздействуют на русака как прямо – гибель, так и косвенно, через кормовую базу и эпизоотическую обстановку. Понижение плотностей русака с подъемом в горы связано с неблагоприятными климатическими факторами.

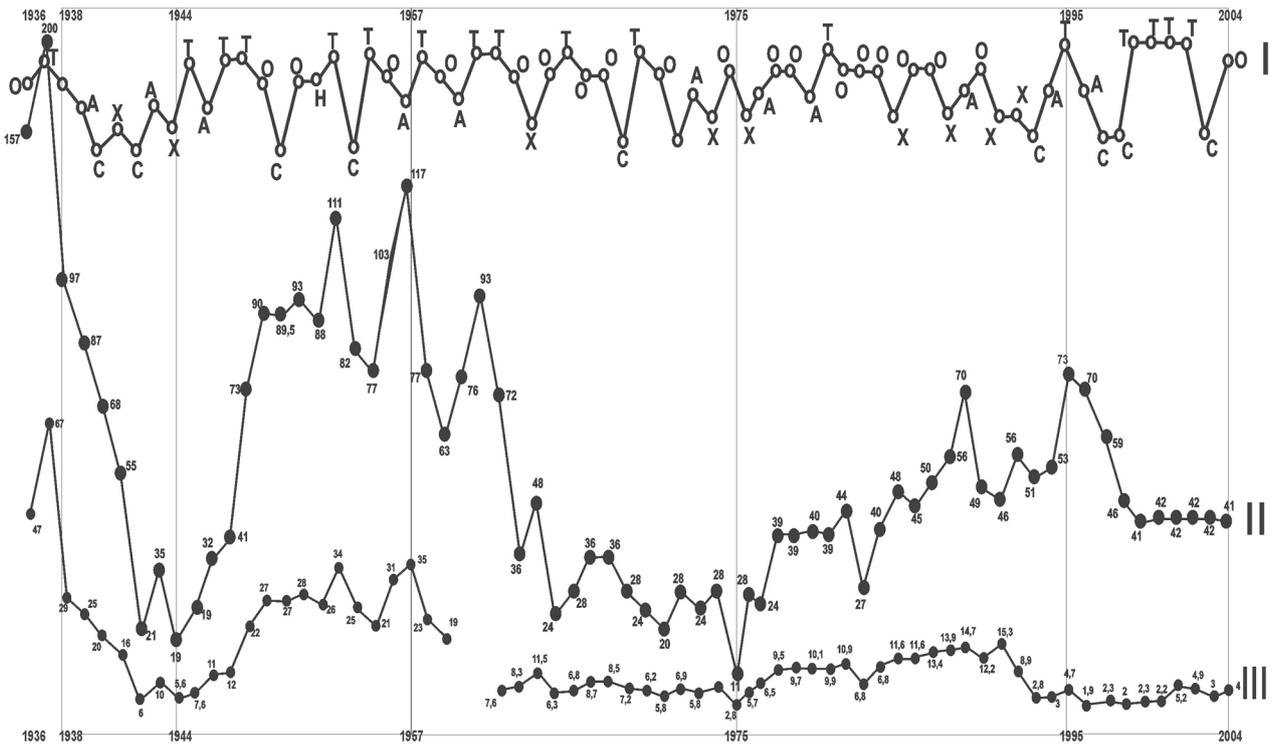


Рисунок. Динамика численности, добычи зайца-русака и суровости зим в Дагестане за 1936–2005 гг.

Заметное влияние на популяции русака оказывают летние паводки на р. Терек в Бабаяртовском и Кизлярском районах. Регулярные затопления приморской территории в результате нагонных морян в Дагестане отрицательно влияют на русака только в Тарумовском районе.

Инфекционные и инвазионные болезни русака в Дагестане не определяют динамику его численности. За последние 60 лет крупных эпизоотий в популяциях русака не наблюдалось. Зайцы здесь болеют туляремией и кокцидиозом. Из гельминтозов обнаружены пассалурез (23,3 %), трихостронгилез (10 %), трихоцефалез (10 %) и дикроцелиоз (3,3 %) [2, 3].

Среди врагов зайца на первом месте стоит волк (87 % анкет из 225,  $r = -0,75$ ), затем безнадзорные собаки (74 %,  $r = -0,73$ ), лисица (63 %,  $r = -0,46$ ), хищные птицы (26 %), серая ворона (26 %), шакал (16 %), рысь (6 %) и каменная куница (5 %). Негативное влияние волка возрастает с продвижением на юг. Сокращение численности волка приводит к увеличению хищничества лисицы и безнадзорных собак. В рационе других хищников, таких как каменная куница, корсак, лесной кот, русак является случайной добычей. Заяц как кормовой объект играет большую роль в поддержании численности рыси.

Из всех факторов воздействия интенсивного земледелия (сенокос и уборка, химизация,

фактор беспокойства, сезонное сокращение ареала) воздействие механизации уборочных и сенокосных работ наносит самый ощутимый вред популяциям зайца в Дагестане. В Дагестане в 1986–90 гг. гибель русака при сенокосных работах на низменности достигала 30 % от обитавшего здесь поголовья, к 2005 г. этот показатель сократился до 22 %.

Это связано как с уменьшением нагрузки механизированных работ (на 28 %), так и снижением плотности русака (на 26 %). Наибольший урон механизация сельхозработ наносит в период репродукционного периода. Доля гибели молодняка достигает 75 % в общей смертности. Наиболее истребительными для русака являются круговые методы и «в загон».

До 1993 г. химизация сельского и лесного хозяйства негативно воздействовала на численность русака ( $r = -0,73$ ,  $p = 0,001$ ). В последние 13 лет в Дагестане в связи с сокращением применения химикатов этот фактор несущественен. В настоящее время в Дагестане русак испытывает негативное влияние пестицидов только на 7 % и минеральных удобрений на 1 % от общей площади своего ареала.

Браконьерство является одним из ведущих факторов динамики популяций русака. Крайне негативное влияние оно оказывает в период депрессивного понижения численности и обост-

рения других отрицательных факторов ( $r = -0,5$ ,  $p = 0,033$ ). Среди браконьерских охот наиболее опасно ночное автобраконьерство, получившее широкое распространение в последние годы. При высокой добычливости этот вид браконьерства с учетом охвата широких территорий может стать определяющим в отрицательной динамике численности на равнинной части Дагестана.

В целом выявлено, что флуктуации численности русака определяются в основном климатическими факторами. Антропогенные факторы, враги и болезни, каждый в отдельности, не изменяют тенденций флуктуаций, однако могут изменить скорость, определенных климатом. В последние годы из антропогенных факторов первое место по негативному воздействию занимает автобраконьерство и перевыпас скота.

Динамика добычи русака в Дагестане за 1936–2004 гг. аналогична динамике по Предкавказью. Шкурки русака малоценны, поэтому в Дагестане количество поступающих их в заготовки до 1991 г. составляло лишь 30–40 % от общей добычи зайца. Фактическая его добыча в те годы была в 2–3 раза выше объемов заготовок. Общий уровень опромышления популяций русака в Дагестане в 1986–2004 гг. составил в среднем 47 %, то есть максимально допустимый уровень освоения запасов вида. За последние 5 лет объемы официальной добычи зайца в Дагестане снизились до 4,5–5 тыс. гол. в год. Максимальный уровень добычи русака в Дагестане был отмечен в 1937 г. (67 тыс. шкурки).

С повышением высоты общие объемы и плотность добычи русака уменьшается, и происходит это отчасти как из-за понижения плотностей населения русака, так и с повышением трудоемкости охоты.

В настоящее время в Дагестане практикуются следующие методы добычи русака: охота с подхода – 40 %, с гончими собаками – 25 %, тропление по снегу – 20 %, загон – 10 %, на засидках – 5 %. В горах больше практикуется охота на зайца с собаками и троплением по снегу.

При проведении всех видов охот выявлена избирательность добычи по полу и возрасту. Больше изымается молодняка и самцов. При охоте с собаками в добыче преобладают самцы (66 %), с подхода и тропления – самки (64 %).

Заяц-русак является массовым объектом охоты, в связи с чем охрана и увеличение численности популяций неразрывно связаны с его

использованием. Анализ численности и добычи русака в охотничьих хозяйствах системы Ассоциации «Росохотрыболовсоюз» в субъектах ЮФО за 2000–2004 гг. показал, что в южной части своего ареала (в ЮФО) при плотностях поселения русака свыше 15 особей на тыс. га рекомендуемый уровень изъятия его поголовья составляет от 30 до 50 %.

Одним из методов регулирования изъятия русака являются ограничение срока охоты и нормы добычи. Проведенный анализ действующих сроков и норм добычи русака в Дагестане с 1936 г. выявил, что оптимальной является норма добычи 1–2 головы за выезд, а сроки спортивной охоты на зайца – с 1 октября до 31 января.

Корреляционный анализ численности и добычи русака в Дагестане с 1936–2004 гг., в том числе и со смещением на 1 год, выявил только положительные показатели корреляционной связи ( $r = 0,86$ ,  $p = 0,001$ ). Это доказывает, что промысловая нагрузка в пределах допустимых норм изъятия не подрывает численности. Увеличение планового изъятия в определенной степени стимулирует рост поголовья русака. Уровень добычи зайца в Дагестане определяется в основном состоянием численности его популяций.

Проведенные научные исследования позволяют сделать ряд выводов:

1. По основным морфологическим характеристикам и биологии заяц-русак, обитающий на территории Дагестана, существенно не отличается от обитающих в других регионах.
2. Площадь ареала зайца в Дагестане составляет 3848 тыс. га, в том числе по низменности – 1871,6 тыс. га (49 %), в предгорьях – 646,3 тыс. га (17 %), во внутриворонной зоне – 775,8 тыс. га (20 %) и в высокогорьях – 554,3 тыс. га (14 %).

Индивидуальные участки русаков занимают от 30 га в горной местности до 330 га на низменности, но постоянно используется только 20–70 га.

Соотношение полов в среднем составляет 1,2 : 1, в том числе: на низменности – 1,3 : 1; в предгорьях – 1,2 : 1; по внутриворонной зоне – 1 : 1; и по высокогорьям – 1,1 : 1.

3. С 1936 по 2005 г. имели место 5 периодов долговременных флуктуаций численности русака со средней периодичностью 15 лет (7–20). За тот же период произошло 17 кратковременных повышений (пиков) со средней периодичностью 6 лет.

Выявлена закономерность, что при увеличении периодов долговременных флуктуаций периоды кратковременных уменьшаются.

4. В настоящее время численность русака в Дагестане оценивается в 41 тыс. особей, популяция находится в фазе затухающей депрессии.

5. При минимальном антропогенном воздействии флуктуации численности обусловлены исключительно климатическими факторами. Антропогенные факторы, каждый в отдельности, не изменяют тенденции флуктуаций.

Хищники не определяют динамику численности русака, но способны оказывать заметное отрицательное воздействие на популяции.

В условиях континентального климата Восточного Предкавказья негативное влияние болезней на динамику численности зайца-русака менее выражено, массовых падежей зайцев по этой причине не отмечено

6. Промысловая нагрузка в пределах допустимых норм изъятия не подрывает численности. Увеличение планового изъятия в определенной степени стимулирует рост поголовья русака. Уровень добычи зайца в Дагестане определяется в основном состоянием численности его популяций.

В южной части своего ареала (в ЮФО) при плотностях русака свыше 15 особей на тыс. га рекомендуемый уровень изъятия составляет от 30 % до 50 %. Оптимальные сроки спортивной охоты на зайца с 1 октября по 31 января.

7. Для сохранения и увеличения численности русака в Дагестане необходима активизация борьбы с автобраконьерством при внедрении в практику комплекса биотехнических мероприятий.

#### Библиографический список

1. Бакеев, Н.Н. Численность зайца-русака в Западном Предкавказье и рациональное использование его запасов / Н.Н. Бакеев // Рационализация охотничьего промысла. – М.: Экономика, 1967. – Вып. 13. – С. 30–37.
2. Закариев, А.Я. Паразитические черви диких и домашних животных Дагестана: каталог МВ и ССО РСФСР / А.Я. Закариев. – Махачкала, 1990. – 110 с.
3. Золотарев, Н.А. К вопросу о кокцидиях пушных зверей / Н.А. Золотарев // Сб. раб. / Дагестанский протозоологический опорный научно-исследовательский пункт Северо-Кавказской опытной станции Наркомзема ДАССР. – Махачкала: Дагкнигоиздат, 1935. Вып. 1. – С. 124
4. Колосов, А.М. Биология зайца-русака / А.М. Колосов, Н.Н. Бакеев. – М.: изд. МОИП, 1947. – Вып. 9 (24). – 103 с.
5. Лошкарев, Г.А. Некоторые вопросы экологии зайца-русака в предгорьях Северного Кавказа / Г.А. Лошкарев // Уч. зап. / Тамбовский педагогический институт. – Тамбов, 1968. – Вып. 26. – С. 109–117.
6. Львов, И.А. Охотохозяйственное районирование ареала зайца-русака / И.А. Львов // Труды ЦНИЛ Главохоты РСФСР / Охотоведение. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – Вып. 1. – С. 169–181.
7. Львов, И.А. Особенности динамики экологической емкости угодий зайца-русака в условиях интенсивного земледелия / И.А. Львов // Мат. науч. конф. 14–16 мая 1980 / Влияние хозяйственной деятельности человека на популяции охотничьих животных и среду их обитания. – Киров, 1980. – Т. 1. – С. 145–146.
8. Новиков, Г.А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных / Г.А. Новиков. – М.-Л., 1953. – 502 с.
9. Огнев, С.И. Грызуны Северного Кавказа / С.И. Огнев. – Ростов на Дону, 1924. – 62 с.

## МЕТОДЫ ДОБЫВАНИЯ КОРМА ПТИЦАМИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е.Б. СКРЫПНИКОВА, *асп. каф. экологии, защиты леса и лесного охотоведения ВГЛТА*

Методы добывания корма птицами в условиях урбанизированных территорий можно разделить на связанные с измененной человеком природной средой и связанные с процессом деятельности человека.

К первым можно отнести методы, применяемые птицами во время кормежки на искусственных покрытиях, подстриженных газонах и т.д. В таких условиях существенно облегчено само передвижение птиц по субстрату, а также процесс зрительного обнаружения добычи. Изменяется и кормовое поведение. Городские воробьи, кормящиеся в высокой траве, используют «зависание» и «выпугивающие» посадки, способствующие

визуализации добычи, а на подстриженных газонах передвигаются при помощи прыжков. В городах многие виды птиц кормятся пищевыми отбросами. С 1995 по 2006 г. в Воронеже и Воронежской области проводились круглогодичные орнито-фаунистические обследования мусорных свалок [1–3].

Многие виды птиц являются регулярными массовыми обитателями большинства обследованных свалок: большая синица, домовая и полевая воробьи, скворец, серая ворона, сорока, сойка, которых привлекает сюда обилие мух. Отмечали крупные скопления воробья, скворца, галки, серой вороны и т.д.

Численность и видовой состав птиц может сильно изменяться в зависимости от места расположения свалок, их открытости и окружающего биотопа. Численность птиц на свалках наиболее высока в зимний период. Птицы наиболее активны после выгрузки контейнеров с мусором: подбирают корм с земли, садятся на баки (синицы). Наиболее стабильна численность полевого воробья. В течение суток у многих видов птиц, особенно у стайных (врановые, воробьи), наблюдаются резкие изменения числа особей, находящихся на свалке; повышенная активность кормодобывания в первой половине дня. Слет птиц на свалки происходит с расстояния 10–25 км.

Обилие доступной пищи приводит к задержке на свалках многих перелетных и кочующих птиц, с наступлением холодов они гибнут. В последние годы произошел рост численности скворцов, зимующих на мусорных свалках. В окрестностях свалок отмечены гнездящиеся славки, камышевки, дрозды и другие виды. Рацион тетеревятника зависит от соотношения фоновых видов обитателей разных свалок.

Ко второй группе отнесены кормовые методы, применяемые птицами при непосредственном контакте с работающей техникой и т. п. Следование птиц за землеобрабатывающей техникой общеизвестно. В городах птицы следуют за газонокосилками. Движущаяся техника в рассматриваемых ситуациях облегчает птицам визуализацию добычи и обеспечивает ее доступность. Если корни данной повадки уходят в глубокую древность, когда птицы могли следовать за ста-

дами крупных копытных животных, а потом и за плугом земледельца, то кормовые методы птиц, связанные с автотранспортом, возникли сравнительно недавно.

Источники искусственного освещения в ночное время привлекают насекомых, обилие которых, в свою очередь, привлекает птиц.

Большинство антропогенных кормовых повадок птиц, по-видимому, возникло сначала у отдельных особей, а затем путем подражания распространилось на популяцию, вид. Вероятно, можно говорить и о межвидовом имитационном значении. Кормовое поведение – исключительно пластичный элемент сложного поведенческого комплекса птиц. Самые незначительные изменения в экологической ситуации могут повлечь за собой изменения и в кормовом поведении.

#### Библиографический список

1. Костин, Ю.В. О методике ооморфологических исследований унификации описаний оологических материалов / Ю.В. Костин // Методики исследования продуктивности и структуры видов птиц в пределах их ареалов. – Вильнюс: Мокслас, 1977. – С. 14–22.
2. Приклонский, С.Г. Методические указания по сбору материала к главе «Место вида в биоценозе» / С.Г. Приклонский // Материалы V заседания межсекционной рабочей группы по проблеме: «Исследования продуктивности вида в пределах ареала». – Вильнюс, 1973. – С. 119–130.
3. Кистенева, Е.Б. Взаимосвязь сроков размножения и величины кладки у мухоловки-пеструшки в Уманском бору (Воронежская область). Экология и проблемы защиты окружающей среды. Тезисы докладов IV Всероссийской студенческой конференции. Красноярск 24-25 апреля 1977 г. / Е.Б. Кистенева, Ю.А. Мизин. – Красноярск, 1977. – С. 7

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОРОЗОВСКОЙ ШКОЛЫ ЛЕСНОЙ ТИПОЛОГИИ

Е.С. МИГУНОВА, *проф. УкрНИИЛХА им. Г.Н. Высоцкого, д-р с.-х. наук*

В конце XIX в. при первой широкомасштабной инвентаризации лесных богатств Российской империи лесоводы, работавшие в ранее никогда не обследованных лесах северной России, обнаружили распространенное в народе деление лесов, основанное на учете не только их состава, но и условий произрастания. В частности, сосняк на повышенных местах назывался бором, по заболоченным понижениям – мшарой(!). Н.К. Генко, И.И. Гуторович и ряд других лесоводов начали использовать выделяемые по такому принципу «типы насаждений» в лесоустроительной прак-

тике. Обобщая полученные результаты, Морозов показал значение и перспективы изучения лесов в единстве со средой их обитания, экосистемного восприятия природы леса и обосновал это направление как особую отрасль лесоводства, назвав ее учением о типах насаждений или лесной типологией. Основные теоретические положения созданного им нового учения изложены в его известной статье «О типах насаждений и их значении в лесоводстве» [9], которой открывался первый номер Лесного журнала, вышедший под его редакцией (1904, вып. 1).

Эта статья может рассматриваться как становление лесной типологии или учения о связях лесов со средой обитания и их разделения на типы по факторам этой среды. Она послужила толчком для создания в русском лесоводстве типологического направления, очень быстро получившего широкое признание и поддержку лесоводов и вызвавшего мощный поток работ по выявлению и описанию типов насаждений в лесах разных регионов России. За период 1904–1914 гг. появилось более 300 статей, посвященных этой проблеме. В 1914 г. в Лесном журнале была опубликована классификационная таблица А.А. Крюденера, в которой типы леса систематизированы и размещены по нарастанию богатства и увлажнения почвогрунтов. В 1916–1917 гг. как приложение к Лесному журналу были опубликованы два тома монографии Крюденера «Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны» [6], в которой автор предложил единую типологическую классификацию лесов Европейской России.

Определяя тип насаждения как единство климата, почвогрунта и растительного сообщества, то есть как экосистему, Крюденер дает в своей монографии лесорастительное районирование европейской России по комплексу климатических показателей и сопряженную классификацию грунтов и лесных насаждений, разделяемых на типы по изменению состава и продуктивности насаждений, отражающих изменения в уровне плодородия почвогрунтов. Будучи руководителем лесного отдела Управления уделов, в ведении которого находилось около 7 млн га лучших лесных массивов России, принадлежавших царской семье, и проводя большие работы по их лесоустройству, Крюденер способствовал тому, что его классификация начала быстро внедряться в производство.

Этот очень бурный морозовский этап развития лесной типологии был остановлен Первой мировой войной и революционными событиями. Когда в середине 1920-х гг. начали разворачиваться широкомасштабные работы по инвентаризации лесов СССР и лесоустройству, положение в лесной науке было совсем другим. Г.Ф. Морозов умер, А.А. Крюденер, имевший титул барона, эмигрировал. Усилившиеся позиции немногочисленных прежде противников лесной типологии, «бонитетчиков», из них прежде все-

го крупного таксатора М.М. Орлова, считавшего главной характеристикой насаждений их продуктивность, класс бонитета, обусловили то, что для классификации лесов в этих работах был принят не морозовский экологический, а ботанический принцип В.Н. Сукачева, точнее Каяндера-Сукачева, основанный на определении типов лесов по доминирующим в их составе видам древостоя и травяного покрова, практически без учета условий местопроизрастания, то есть того, что собственно составляет суть типологического понимания леса. Вполне вероятно, что для такой замены в те годы достаточно было одного факта эмиграции Крюденера. От этой замены началось формирование фитоценологического направления лесной типологии, представляющего, однако, не типологию (классификацию экосистем), а фитоценологию (классификацию растительных сообществ, фитоценозов). Тем не менее это направление на долгие годы стало основным официально признанным в лесоводстве практически на всей территории СССР. Единственным, кто выступил тогда в печати с обоснованием нецелесообразности замены лесоводственной классификации Крюденера ботанической классификацией Сукачева, был казанский лесовод Д.И. Морохин [11].

Но если в Москве и Ленинграде не оказалось крупных лесоводов, способных отстоять лесотипологические позиции Морозовской школы, они нашлись на Украине, в Киеве и Харькове. Ими были Е.В. Алексеев и Г.Н. Высоцкий.

Т а б л и ц а 1

**Классификационная модель лесов и их местообитаний – эдафическая (почвенно-грунтовая) сетка Крюденера-Погребняка**

Типы леса		А Боры	В Субори	С Сугрудки	Д Груды*
Типы местообитаний – эдаптопы		Подтипы богатства – трофотопы			
		бедные	относит. бедные	относит. богатые	богатые
Подтипы влажностности – гиротопы	0. очень сухие	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>
	1. сухие	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>
	2. свежие	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
	3. слажные	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>
	4. сырые	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>
	5. мокрые	A <sub>5</sub>	B <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	D <sub>5</sub>

Примечание: \* груд (народное) – дубовый лес с грабом, грабовая дубрава; принят как таксон, объединяющий все леса на богатых землях (дубравы, бучины, рамени, ольсы и др.), соответственно сугрудки (сугруды) объединяют судубравы, субучины, сурамени.

Этапы развития Морозовской школы лесной типологии

Годы	Этапы	Авторы идей и разработок
1880–1904	Зарождение – попытки использования выделяемых в народе типов насаждений при лесоустройстве	А.Ф. Рудзкий, Н.К. Генко, И.И. Гуторович
1904–1920	Становление – обоснование принципов, разработка классификации	Г.Ф. Морозов, А.А. Крюденер, П.П. Серебренников
1920–1950	Возрождение на уровне украинского экологического направления – совершенствование классификации, теории и методологии	Е.В. Алексеев, П.С. Погребняк, Д.В. Воробьев
1950–1975	Расширение сферы применения (степь, горные регионы), типология климата, районирование	Д.В. Воробьев, А.Л. Бельгард, Д.Д. Лавриненко, школа Воробьева*
1975–2005	Количественное обоснование классификации, кадастр типов леса Украины	И.В. Туркевич (1965–1975), Б.Ф. Остапенко, Е.С. Мигунова

Примечание: \* Б.Ф. Остапенко, П.П. Посохов, З.Ю. Герушинский, И.Ф. Федец, М.С. Улановский, В.Н. Данько

Е.В. Алексеев, работавший много лет с А.А. Крюденером в Удельном ведомстве, в 1914 г. переехал в Киев, где наряду с производственной и преподавательской деятельностью много времени уделял исследовательской работе, в том числе проблемам лесной типологии. Основу типологической концепции Алексеева составили разработки Крюденера. Из-за негативного отношения, сложившегося после революции вокруг личности барона-эмигранта, Алексеев мало ссылается на его работы. Он использует его классификацию как общепринятую, лишь несколько изменяя и уточняя ее в соответствии со спецификой своего региона [1].

Ближайший соратник Морозова и Крюденера Г.Н. Высоцкий, заведовавший кафедрой лесоводства в Харьковском СХИ и возглавивший в 1925 г. Бюро по лесному опытному делу Украины, организовал в 1926 г. (безусловно, в связи с событиями, происходящими в Москве) небольшую исследовательскую партию из молодых лесоводов, которой было поручено обследование лесов Украины и выработка соответствующей типологической концепции, в основу которой предполагалось положить разработки Е.В. Алексеева. Из трех сотрудников в состав партии по приглашению Высоцкого вошел ученик Сукачева Д.В. Воробьев, быстро сделавшийся не только горячим приверженцем, но и сооснователем, вместе с П.С. Погребняком, экологической школы типологии.

Главным результатом работ экспедиции, прежде всего П.С. Погребняка, было создание весьма совершенной классификационной модели типов леса – эдафической сетки (от лат. *edaphus* – почва, земля) [14]. Тогда этот факт был воспринят как оформление новой школы лесной типологии, получившей название украинской, или лесоводственно-экологической. На самом деле это было возрождение типологии Морозова и Крюденера.

Чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить эдафическую сетку (табл. 1) с классификационной таблицей Крюденера. Погребняк взял ее центральный фрагмент – четыре типа субстратов 7 и 6 типов влажности из 15, отнеся остальные типы к вариантам и морфам.

Все это вполне естественно. Созданию классификации предшествовали два десятилетия напряженной работы Крюденера в разных регионах России, Погребняк же пришел в экспедицию Высоцкого с институтской скамьи. В период работ экспедиции ссылаться на Крюденера было, если не опасно, то, безусловно, крайне нежелательно. Но мы особо подчеркиваем факт, что лесоводы Украины возродили исключительно перспективный классификационный прием, предложенный Крюденером. Позже украинские типологи отмечали, что «они бережно сохранили в своих работах идеи основоположников лесной типологии» [5, с. 35].

В связи с исполняющимся 100-летием становления лесной типологии, мы выделили в ее развитии следующие периоды (табл. 2).

Первый этап, представленный в данной схеме, начался в конце XIX в. с сообщений о принятом в народной среде делении лесов по их местопроизрастаниям и с попыток использования этого принципа в лесоустройстве.

Второй этап открылся блестящей статьей Г.Ф. Морозова (1904), продолжилась столь же блестящей монографией А.А. Крюденера (1916) и быстрым внедрением предложенной в ней классификации лесов в производство, завершился эмиграцией Крюденера (1918) и смертью Морозова (1920).

Третий этап включает типологические исследования Е.В. Алексеевым украинских лесов на принципах Крюденера и работы организованной Г.Н. Высоцким исследовательской партии ВУПЛ'а, завершившиеся разработкой, также на

базе построений Крюденера, весьма совершенной классификационной модели лесов и их местообитаний – эдафической сетки и обобщением теоретических и методических вопросов типологии в монографии П.С. Погребняка «Основы лесной типологии» [15].

Новый подъем лесотипологических исследований на Украине (четвертый этап) связан с использованием лесотипологических принципов для оценки и отвода земель, в том числе песчаных, эродированных, засоленных, при создании насаждений в степной зоне в период работ по плану преобразования природы. Продолжился он организацией в 1950-е гг. Д.В. Воробьевым

нескольких горнотипологических экспедиций (Карпаты, Крым, Кавказ) и его и Д.Д. Лавриненко работами по типологии климата. Завершился со смертью Воробьева (1976) и Лавриненко (1978).

На последнем, пятом этапе, учениками и последователями Воробьева обобщались ранее накопленные материалы, позволившие завершить количественное обоснование лесотипологической классификации, прежде всего эдафической сетки (Е.С. Мигунова), и создать кадастр всех типов леса, представленных на территории Украины (Б.Ф. Остапенко с соавторами). Завершился отходом от активной деятельности весьма успешной школы Д.В. Воробьева.



Георгий Федорович Морозов  
(1865–1920)



Артур Артурович Крюденер  
(1869–1951)



Евгений Венедиктович Алексеев  
(1869–1930)



Петр Степанович Погребняк  
(1900–1976)



Дмитрий Васильевич Воробьев  
(1903–1976)



Борис Федорович Остапенко  
(1922–2006)

В настоящее время, к началу нового, шестого этапа, украинская типология оказалась очень ослабленной и малочисленной, в связи с чем последователи Воробьева не передали в полной мере своим продолжателям воспринятой ими от своего учителя удивительной способности по составу и состоянию растительного покрова «видеть» почвогрунт до глубины 2–3 м. Основными задачами на современном этапе является разработка систем ведения лесного хозяйства на ландшафтно-типологической основе с использованием водосборного принципа организации территории. Для этого необходимо серьезное обоснование системы более крупных (чем тип леса) таксонов – лесотипологического комплекса, типа лесного массива, типа лесного ландшафта.

Лесная типология – теория, философия лесоводства. Благодаря знакомству с народными природоведческими знаниями, постоянной опоре на производственный опыт и уникальности объекта – леса (вследствие многолетнего, а то и многовекового роста, очень ярко высвечивающего многообразные связи со средой), у лесоводов сформировалась более совершенная система представлений о природе нашей планеты, чем та, которой располагает академическая наука. Наиболее завершённое развитие эта система получила в концепции лесной типологии Г.Ф. Морозова – А.А. Крюденера и ее преемнице – украинской школе (Е.В. Алексеев, П.С. Погребняк, Д.В. Воробьев и их последователи).

Хотя в настоящее время украинские лесоводы рассматривают лесную типологию в основном как классификационную систему лесов в зависимости от трофности (throphe-пища) и водообеспеченности их местообитаний на базе эдафической сетки, но обобщая результаты всего 100-летнего пути развития данного научного направления, разработанные им принципы и методы выделения и классификации элементарных природных комплексов – типов леса, в целом систему представлений о природе Земли, на которой оно базируется и которую развивает, можно представить в виде следующих основных положений и разработок.

1. Разделение природы на биоту и ее среду и признание полной обусловленности живого, прежде всего растительности, абиотической средой, двумя основными ее факторами – климатом и грунтом (поверхностными отложениями), производными Солнца и Земли. «Лес находится

под влиянием климата и под властью земли» – Г.Ф. Морозов [10].

2. Выделение главных составляющих этих факторов, глобальных лимитированных экологических (необходимых для жизни) ресурсов – тепла, влаги и пищи, создающих в сумме биопотенциал среды, тот или иной уровень ее плодородия, определивший возникновение и существование жизни на Земле.

3. Признание неоднородности в обеспеченности этими ресурсами главной причиной, обуславливающей биоразнообразие Земли и формирующей облик ее биосферы: природных зон вследствие разного поступления тепла и влаги и внутризональной комплексности, экосистемного строения зон, вследствие разного состава и строения (рельефа) слагающих поверхность суши отложений, обуславливающих их разную обеспеченность элементами питания и влагой.

Тепло выступает в качестве ограничителя жизнедеятельности в приполярных областях и высокогорьях, элементы питания – на грунтах легкого механического состава, маломощных и выпаханых землях. На остальной преобладающей части суши Земли главным ресурсом, ограничивающим продуктивность биоты, является влага. Закон лимитирующих факторов обосновал Ю. Либих (1840). Однако он до сих пор по-настоящему не оценен, а в ряде наук вообще отрицается. В типологии эти факторы положены в основу классификации.

4. Признание единства биопотенциала среды и создаваемой ею биопродукции, единства лесорастительного потенциала и лесорастительного эффекта, почему лесоводы издавна оценивают лесные насаждения и их местообитания одним классом бонитета. Причиной этого единства является стремление биоты к возможно более полному потреблению имеющихся экологических ресурсов, предел которому ставит исчерпание ресурса, находящегося в первом минимуме.

5. Признание растительности наиболее надежным критерием качества среды и разработка весьма совершенной системы ее оценки по составу и продуктивности растительности, преобладанию тех или других экологических групп растений (олиго- или мегатрофов, ксеро- или гигрофитов и др.) – фитоиндикация среды.

6. Классификация лесов в единстве с их местообитаниями и выявление критериев – характера и масштабов различий в составе и про-

дуктивности растительности, определяющих разделение природы на элементарные ячейки – экосистемы, типы леса, делающие процесс их выделения вполне объективным.

Классификация лесов в связи с их местообитаниями – основной принцип лесной типологии. Г.Ф. Морозов особо подчеркивал, что типология лесов – это их классификация не только по составу, как общепринято, но и по условиям местопроизрастания – почвогрунтам и положению в рельефе, и определял тип насаждений как их совокупность, объединенную в одну группу общностью условий произрастания или почвенно-грунтовых условий [9]. А.А. Крюденер, многие годы собиравший народные знания о лесах, построил свою классификацию, разместив выделяемые народом типы леса по нарастанию обеспеченности их местообитаний пищей и влагой, выявив тем самым главное, что определяет общность условий произрастания в пределах типа, а именно: сходный уровень плодородия их почвогрунтов.

Первые типологи – Морозов, Крюденер, Алексеев – выделяли типы леса по характеру насаждений, но при этом всячески стремились отыскать непосредственно в почвогрунтах признаки, которые позволяли бы делать это более объективно. Погребняк и Воробьев, безусловно признавая определяющую роль почвогрунтов в формировании типов леса, показали, что растительность является наиболее чутким индикатором условий произрастания, и, приняв руководящим признаком для определения типа их лесорастительный эффект, полностью перешли на опосредствованную оценку типов – по составу и продуктивности насаждений. Это значительно ускорило и удешевило проведение лесотипологических исследований, одновременно существенно повысив их точность. Признаки местообитаний – почвогрунты, рельеф, грунтовые воды – отнесены этими учеными к категории вспомогательных, изучение которых нужно проводить в случаях, когда естественная растительность сильно нарушена.

П.С. Погребняк [15] выделил в качестве основных признаков древостоев, отражающих особенности земель, на которых они произрастают и необходимых для их отнесения к разным типам, следующие два показателя: различия в составе и структуре коренных насаждений – появление или выпадение древесных пород, обладающих разной требовательностью к условиям среды, их

переход из подчиненных ярусов в верхний полог и наоборот (а), и/или различия в продуктивности насаждений, как правило на один класс бонитета (б). Наряду с характером древостоя, при выделении типов леса учитывается состав, жизненность и продуктивность всех других ярусов насаждений, также используемых для оценки богатства пищей и увлажнения почвогрунтов.

7. Создание двух сопряженных классификационных моделей среды и ее лесов – климатической и эдафической (почвенно-грунтовой) сеток (систем) в координатах лимитированных параметров среды: климатической – по нарастанию количества тепла и атмосферных осадков, эдафической – по увеличению запасов пищи (трофности) и доступной влаги в почвогрунтах, разделяемых на типы по приуроченности к ним насаждений разного состава и продуктивности, систематизирующих зональное и внутризональное разнообразие природы.

8. Классификационные лесотипологические модели представляют классификации плодородия климата и почвогрунтов. Климатическая сетка подразделяет среду на типы климата, однородные в пределах толерантности высших растений по климатическим факторам, эдафическая – на типы местообитаний, типы биологически равноценных земель, однородные по почвенному плодородию (тесно сопряженному с механическим составом грунтов) внутри разных типов климата. Тип климата и тип местообитания формируют в единстве тип среды, тип лесорастительных условий.

9. Размещаемые внутри классификационных сеток типы растительности (леса, степи и др.) рассматриваются как результат, продукт тех или других типов местообитаний и типов среды, но при этом принимаются в качестве критериев их выделения, чем обеспечивается единство масштабов типов среды и биоты («ключ» Крюденера).

На основе названных выше принципов выделяется весьма ограниченное количество типов климата и типов местообитаний. На территории бывшего СССР установлено 8 зон тепла и 9 зон влажности, а в пределах большинства формируемых ими климатических областей 4 трофотопы (от А бедного до D богатого) и 6 гигротопов (от 0 очень сухого до 5 мокрого), образующих в единстве 24 типа местообитаний, эдатопа (A<sub>0</sub> бедных сухих, C<sub>3</sub> относительно богатых влажных и др.), плюс их варианты и морфы. В разных областях

различаются лишь площади этих аналогичных эдаптопов и их положение в рельефе. На севере отсутствуют сухие и богатые земли, в засушливых районах появляются еще засоленные (Е–Н) и особо сухие (–1, –2) типы.

На аналогичных по плодородию типам местообитаний в разных климатах произрастают разные по теплолюбию, но близкие по потребности в пище и влаге растительные сообщества, типы леса: на богатых суглинистых землях (эдаптопы D<sub>2</sub> – D<sub>4</sub>) дубравы в умеренном свежем климате, рамени (сложные ельники) – в более влажном холодном, бучины – в мягком влажном. На бедных песчаных землях разных зон господствует сосна (боры, субори; эдаптопы A<sub>1-5</sub>, B<sub>1-5</sub>), что отражает одну из основных закономерностей природы Земли: ее биоразнообразие возрастает в благоприятных почвенно-климатических условиях и сходит к минимуму в экстремальных (сфагнум на верховых болотах, солерос на солончаках и др.). Между тем никто не занимается изучением биоразнообразия нашей планеты в связи с плодородием среды, ее обеспеченностью экологическими ресурсами, тогда как каждому уровню их содержания, особенно ресурса, находящегося в первом минимуме, соответствует строго определенный уровень биоразнообразия.

Опираясь на различия плодородия среды, можно привести в единую систему все разнообразие лесов по составу и продуктивности: от низкобонитетных чистых сосняков (боров) на сухих и заболоченных бедных песчаных землях через смешанные елово(дубово)-сосновые и сосново-еловые(дубовые) насаждения (субори и сугруды) – на супесях и слоистых отложениях до наиболее высокопродуктивных раменей, дубрав и бучин (грудов) – на богатых влажноватых суглинистых почвогрунтах, в зависимости от обеспеченности теплом и степени континентальности климата.

Анализ массового сопряженного изучения лесов разных типов и их местообитаний [8] позволил установить очень важный факт, а именно то, что эдафическая сетка, классифицирующая леса по лимитирующим параметрам плодородия почвогрунтов, одновременно систематизирует их по положению в рельефе и приуроченности к разным типам поверхностных отложений, исходно определяющих увлажнение и богатство почв элементами питания. Это переводит данную сетку (систему) на более высокий уровень, превращая из классификации плодородия местообитаний в классификацию

внутризонального разнообразия природы. Оказывается, что это разнообразие обуславливают те же факторы, которые определяют различия плодородия почвогрунтов, а именно: состав поверхностных отложений и их рельеф. Это особенно важно в связи с тем, что эдафическая сетка является основной классификационной моделью лесной типологии, поскольку типологическое разнообразие лесов – это их разнообразие внутри однородных по климату территорий, т.е. внутризональное разнообразие. Кстати, до того как Крюденер ввел определение типов леса по плодородию почвогрунтов, лесоводы при их выделении опирались именно на состав почвогрунтов и рельеф.

Координаты эдафических сеток – трофность и водообеспеченность местообитаний – интегрально отражают различия состава и строения (рельефа) поверхностных отложений, минерализации и глубины залегания грунтовых вод, обуславливающих разнообразие растительности и почв внутри однородных по климату регионов. Поэтому такие сетки могут называться также оро-петрографическими. При размещении эдафических сеток отдельных регионов в глобальной климатической сетке создается единая классификационная система всех основных компонентов природной среды. Координатами такой эдафоклиматической сетки являются главные абиотические факторы – климат, поверхностные отложения и грунтовые воды, их лимитирующие жизнь параметры, зависимыми переменными – биотические и биокосные – растительность, животные, почвы. Вместе они образуют **экосистемы** (биоэкосистемы).

Глобальная климатическая (географическая) сетка с вложенными в нее эдафическими (почвенно-грунтовыми) сетками отдельных регионов представляет своеобразную «периодическую систему» природы, типов природной среды. Различия между разными типами в пределах зон связаны со строго определенными количествами элементов питания и влаги в почвогрунтах, обусловленных составом и строением (рельефом) поверхностных отложений, а между зонами – изменениями в уровне теплообеспеченности и влажности климата.

Таким образом, хозяйственная группировка лесов, с которой начиналась лесная типология, представляет первую в истории мировой науки и, по-видимому, единственную сопряженную классификацию всех основных компонентов природы,

классификацию типов природной среды и приуроченной к ним биоты, то есть классификацию экосистем как элементарных ячеек природы, причем с количественным обоснованием всех основных ее параметров [3, 4, 7, 8, 17]. В трех зонах равнинной части Украины в соответствии с этими принципами выделено и описано 98 типов леса [13]. Для каждого из этих типов уверенно прогнозируется система ведения хозяйства, обеспечивающая наиболее полное использование их биопотенциала. Широкое внедрение данных разработок в лесном хозяйстве Украины вывело его в свое время на уровень одного из лучших в мире [2].

В академических науках о природе сложились и на протяжении более 100 лет господствуют другие представления о ее законах. Это прежде всего признание значительной независимости живого от среды, его особых способностях преобразовывать ее в благоприятном для своей жизнедеятельности направлении в процессах борьбы, конкуренции и саморазвития, совершающихся в определенной мере независимо от абиотических факторов. Широко признана равнозначность всех основных природных факторов и практически вне поля зрения остается определяющая роль плодородия, биопотенциала среды для всего живого и прежде всего ее лимитированных экологических составляющих. При этом и само понимание комплекса абиотических факторов как среды обитания принято далеко не во всех науках.

На наш взгляд, такая система представлений о природе гораздо менее объективно отражает ее законы, а потому является менее продуктивной. Подтверждением может служить тот факт, что в большинстве естественных наук до сих пор не только не установлены количественные взаимосвязи между разными природными факторами, но нет даже достаточно объективных критериев для выделения их таксонов – ассоциаций, биогеоценозов, экосистем, фаций, геосистем и др., а количество этих таксонов не поддается учету. Вспомним в связи с этим, что Г.Ф. Морозов очень гордился тем, что теоретическая база лесоводства – лесоведение – создана практически полностью на разработках самих лесоводов, а не на достижениях академической науки.

Вспомним также и осознаем, что давно назревшей задачей является возвращение лесной типологии Морозова – Крюденера на те «безбрежные лесные просторы», на которых она когда-то начинала свой триумфальный путь. Несправед-

ливость по отношению к нашим корифеям, которая была допущена много лет назад, повлекшая за собой очень большие негативные последствия для нашего лесного хозяйства, должна быть наконец признана, и исключительно перспективное научное направление, каким является лесная типология в ее истинном морозовском понимании, получит широкое применение и в научной работе и на производстве. Со временем ее разработки должны стать общепринятыми во всех естественных науках, так как они наиболее объективно отражают картину природы, существующие в ней взаимосвязи.

### Библиографический список

1. Алексеев, Е.В. Типы украинского леса. Правобережье / Е.В. Алексеев. – Киев. 1-е изд. 1925, 2-е – 1928. – 120 с.
2. Бобров, Р.В. Лесные наши учителя / Р.В. Бобров. – М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1997. – №7. – 58 с.
3. Воробьев, Д.В. Типы лесов европейской части СССР / Д.В. Воробьев. – Киев: АН УССР. 1953. – 450 с.
4. Воробьев, Д.В. Лесотипологическая классификация климатов / Д.В. Воробьев: тр. Харьковского СХИ. – Харьков, 1961. – Т. XXX. – С. 235–250.
5. Воробьев, Д.В. Лесная типология и ее применение / Д.В. Воробьев, Б.Ф. Остапенко. – Харьков: ХСХИ, 1977. – 53 с.
6. Крюденер, А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Ч. I–II. – Петроград, 1916–1917. / А.А. Крюденер. – М.: МГУЛ, 2003. – 318 с.
7. Мигунова, Е.С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей) / Е.С. Мигунова. – М.: Экология, 1993. – 364 с.
8. Мигунова, Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение) / Е.С. Мигунова. – Харьков: «Майдан». 2000. – 612 с.
9. Морозов, Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве / Г.Ф. Морозов // Лесной журнал. – 1904. – Вып. 1. – С. 6–25.
10. Морозов, Г.Ф. Основания учения о лесе / Г.Ф. Морозов – Симферополь, 1920. – 137 с.
11. Морохин, Д. Типы насаждений с точки зрения организации хозяйства / Д. Морохин // Лесовод. – 1927. – № 12.
12. Орлов, М.М. Лесоустройство / М.М. Орлов. – Л.: Лесное хоз-во и лесная пром-ть, 1928. – Т. 2. – 326 с.
13. Остапенко, Б.Ф. Типологическое разнообразие лесов Украины / Б.Ф. Остапенко – Харків: ХДАУ, 1998. – 127 с.
14. Погребняк, П.С. Основы типологической классификации и методика ее составления / П.С. Погребняк // Сер. научн. изд. ВНИИЛХА. – 1931. – Вып. 10. – С. 180–189.
15. Погребняк, П.С. Основы лесной типологии / П.С. Погребняк. – Киев: АН СССР. Изд. 1-е – 1944. 2-е – 1955. – 456 с.
16. Сукачев, В.Н. Типы лесов и типы лесорастительных условий / В.Н. Сукачев. – М.: Гостехиздат, 1945.
17. Туркевич, И.В. Методические рекомендации по определению потенциальной производительности лесных земель и степени эффективного их использования / И.В. Туркевич Л.А. Медведев, И.М. Мокшанина и др. – Харьков: УкрНИИЛХА, 1973. – 72 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АУДИТА РАСЧЕТОВ ПО ОПЛАТЕ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М.А. МЕНЬШИКОВА, *проф. каф. бух. учета, анализа и аудита предприятий МГУЛ, канд. экон. наук*

В условиях формирования рыночных отношений в лесном секторе возрастает необходимость реформирования контроля как составной части процесса управления. Контроль в условиях предпринимательской деятельности способствует согласованию интересов потребителей с эффективным использованием ресурсов. Важным направлением в системе контроля и проверки правильности ведения бухгалтерской отчетности на предприятиях является аудит.

Аудитор формирует собственное мнение о достоверности финансовой (бухгалтерской) отчетности путем проведения независимой проверки хозяйственной деятельности экономического субъекта. Аудиторские фирмы довольно часто привлекаются к проведению тематических проверок и в том числе расчетов по оплате труда.

Аудиторская проверка оплаты труда открытого акционерного общества по производству мебельной продукции за первое полугодие 2006 г. была проведена по вновь разработанной методике. Она показала, что в бухгалтерском учете имеются нарушения, которые могут привести к существенным штрафным санкциям.

В ходе аудита было установлено, что правила внутреннего трудового распорядка предприятия были утверждены генеральным директором 30.01.2002 г. В него не внесены исправления в 2006 г. в п.8 «Время отдыха» в связи с изменением состава праздничных дней.

В организации не разработан и не утвержден общим собранием коллективный договор, отсутствует утвержденное руководителем положение об оплате труда.

В соответствии с Законом РФ от 11.03.92г. № 2490-1 «О коллективных договорах и соглашениях» (с изменениями) действующие формы и системы оплаты труда работников общества должны быть изложены в коллективном договоре и в положении об оплате труда, принятых и утвержденных общим собранием акционеров или работающих. Оплата труда работников, занятых по трудовым договорам, осуществлялась на основании утвержденного штатного расписания.

Штатное расписание на 2006 г. утверждено в качестве приложения к приказу № 02-02/02 от

24.01.2006 г. В течение отчетного периода в него вносились дополнения и уточнения. В организации установлены дни выдачи заработной платы – 16 и 31 числа каждого месяца (в кассовом плане).

В обществе действует положение о премировании работников открытого акционерного общества, утвержденное генеральным директором 15.12.2003г.

В составе работников предприятия в количестве 112 человек выделена группа, принимающая участие в деятельности, финансируемой из бюджета города Москвы, и группа работников, занятых хозяйственной деятельностью.

Перечень структурных подразделений, участвующих в бюджетной и хозяйственной деятельности, не определен внутренним локальным документом организации.

Система премирования общества предусматривает выплату соответствующих премий по результатам работы за квартал, полугодие, год, а также одновременно в случае безупречного выполнения работником трудовых обязанностей, возложенных на него трудовым договором, должностной инструкцией и локальными нормативными актами (п. 2.2. Положения...).

Работникам, проработавшим неполное количество рабочих дней в квартале, полугодии или в году, премии по итогам работы за полугодие выплачиваются в полном объеме (п.4.2).

В трудовых договорах, заключенных с работниками, отсутствуют соответствующие ссылки на штатное расписание и на положение о премировании, что свидетельствует о недостаточно обоснованном начислении фонда оплаты труда (ФОТ) в бухгалтерском учете предприятия. В п. 6 типового бланка трудового договора предусмотрено, что «...права и обязанности сторон определяются ... должностной инструкцией работника, правилами внутреннего трудового распорядка предприятия и иными нормативными актами работодателя, а также законодательством РФ о труде». Такая запись делает наличие вышеперечисленных документов обязательным.

В соответствии с п.21.ст. 270 НК РФ расходы на оплату труда должны учитываться для целей налогообложения прибыли только в том слу-

чае, если нормы коллективного договора, правила внутреннего трудового распорядка организаций, положения о премировании или другие локальные нормативные акты, принятые организацией, отражены в конкретном трудовом договоре между работодателем и работником.

В течение аудируемого периода премия выплачивалась в марте и июне 2006 г.

По итогам работы за первый и второй кварталы премирование сотрудников общества осуществлялось в соответствии с приказами генерального директора. Сумма премии каждому работнику составила 1450 руб. и 1850 руб. соответственно, за исключением генерального директора и его заместителей.

Основанием премирования (по приказу) явились итоги работы за квартал. В приказах дополнительно не указано, что основанием для начисления премий явилось безупречное выполнение работниками трудовых обязанностей.

Начисление заработной платы работников общества осуществлялось на основании табеля использования рабочего времени, а также расчетных ведомостей типовой унифицированной формы № Т-51.

Размер надбавки устанавливался только при возложении на конкретного работника дополнительных обязанностей. Доплата определялась как разница в установленных окладах.

В ходе аудиторской проверки было проведено сопоставление показателей расчетных ведомостей по структурным подразделениям за июнь с данными сводной оборотной ведомости. Отклонений выявлено не было.

Проверка тождественности сумм оплаты труда, начисленных по сводным ведомостям за 1 полугодие, и данных бухгалтерского учета (по кредиту счета 70) отклонений не выявила.

Оплата труда работников, занятых по гражданско-правовым договорам, осуществлялась исходя из условий заключенных договоров на основании актов выполненных работ. Всего за 1 полугодие 2006 г. начислено по договорам 53 050 руб.

Заключенные гражданско-правовые договора не всегда были связаны с объемом выполненной работы. Например, договор № 05 от 01.03.2006 г. С. Е.П. Тарасовой по уборке тамбура и лестничной клетки первого этажа. Оплата работы выполняется в соответствии с затраченным временем. В этих условиях следует заключить трудовой договор.

График отпусков мебельной компании составлен на 2006 г. и утвержден 14.12.2005 г. Однако в период аудиторской проверки установлено, что его фактическое исполнение не отражалось.

В отдельных случаях в приказах об увольнении и выплате компенсации за неиспользуемый отпуск отсутствует собственноручная подпись работника организации напротив записи «С приказом ознакомлен...». Например: приказ №02-02/150 от 30.06.06 об увольнении Т.Н. Леоновой по собственному желанию.

К приказам по увольнению и выплате компенсации за неиспользованный отпуск приложены записки с расчетом, в которых неверно показан период, за который предоставляется отпуск. Необходимо внести исправления и заполнить все обязательные реквизиты в записке-расчете типовой унифицированной формы № Т-60. При расчете среднедневного заработка работников учитывались фактические выплаты за три месяца, предшествующие отпуску. В случаях, когда не все дни месяца были отработаны, в расчете количества фактически отработанных дней использовался коэффициент 1,4. Например, при расчете компенсации за неиспользованный отпуск Т.Н. Леоновой в размере 797,12 р.

Была выполнена выборочная проверка достоверности начислений за ежегодный отпуск в июне. Так, Л.В. Ивановой по приказу № 02 от 30.06.06 начислены отпускные за 19 календарных дней с 17.07.06 по 04.08.06. в размере 7564,99 руб. При расчете среднедневного заработка были учтены все фактические выплаты за предыдущие три месяца.

Г.С. Волкову в соответствии с приказом № 03 от 30.06.06 за отпуск в количестве 21 дня с 05.07.06 по 25.07.06 начислено 7390,11 руб.

М.В. Назарову по приказу № 04 от 30.06.06 начислено 8403,75 руб.

Нарушений в расчетах сумм отпускных и компенсаций за неиспользованный отпуск не установлено.

Суммы отпускных, приходящиеся на месяц, следующий за текущим, отражались на счете 97.

В ходе аудиторской проверки рекомендуется установить достоверность начисления НДФЛ и ЕСН. Аудитором был произведен выборочный контрольный расчет налога на доходы физических лиц. Например, М.Е. Сидоровой за июнь месяц, Е.С. Тарасовой за июнь месяц, А.В. Петрову за июнь.

Заявления на предоставление стандартных вычетов на сотрудников и детей имеются и обновляются ежегодно.

Исчисление, удержание налога на доходы физических лиц осуществляется в отношении доходов в виде заработной платы и вознаграждений, выплачиваемых обществом по трудовым договорам штатным сотрудникам, а также лицам, которые выполняют определенные поручения по договорам гражданско-правового характера. Отклонений в расчетах не выявлено.

В соответствии с п. 4 статьи 243 НК РФ в организации по окончании налогового периода распечатываются индивидуальные карточки учета сумм начисленных выплат и иных вознаграждений, сумм налога, относящегося к ним, а также сумм налоговых вычетов по каждому физическому лицу, в пользу которого осуществлялись выплаты.

В соответствии с приказом МНС России от 21.02.02г. № БГ-3-05/91 в организации по окончании налогового периода распечатываются индивидуальные карточки учета сумм начисленных выплат и иных вознаграждений, сумм начисленного ЕСН по каждому сотруднику.

Сумма, не подлежащая налогообложению в отчетном периоде в соответствии со ст. 238 НК РФ, составила 349627,67, что соответствует стр.1100 формы отчета по ЕСН.

Налоговая база для исчисления ЕСН соответствует данным, отраженным обществом в налоговой декларации по единому социальному налогу за 2006 г.

Общество представило расчеты отчислений по формам, утвержденным приказами Минфина РФ по ЕСН от 17.03.05 №40н, по страховым взносам на ОПС – от 24.03.05 №48н.

Аудит расчетов с ФСС может быть выполнен с помощью таких аудиторских процедур, как сверка, сличение.

Расчетная ведомость по средствам фонда социального страхования РФ общества за 1 полугодие 2006 г. составлена по форме – 4 ФСС РФ, утвержденной 22.12.2006г № 111 (в ред. Постановления ФСС РФ от 31.03. 2006 №37).

Расходы на цели государственного социального страхования с начала года, приведенные в форме – 4 совпадают с данными бухгалтерского учета:

Д69 К 70 .....78589,67 руб.  
 Всего расходов (с. 9,15) ф. – 4 .... 78589,67 руб.

**Результаты аудиторской проверки  
налоговой базы для исчисления ЕСН**

Статьи затрат	Фонд оплаты труда, р.
<b>Группа затрат 1</b>	
Оплата по окладу	6537473,20
Надбавка за совмещение профессий (доплаты)	38262,94
Оплата труда лиц, принятых по совместительству	–
Материальная помощь	–
Компенсационные выплаты за досрочное расторжение договора сверх. норм.	52000
Премия квартальная	334176,20
Оплата отпуска учебного	10381,98
Оплата очередного отпуска	180612,54
Отпуск будущих периодов	290467,99
<b>Группа затрат 2</b>	
Оплата обучения	–
Оплата банковских карт	–
Итого база для начисления ФСС и ФСС н/с (п.1+п.2)	<b>7443374,75</b>
<b>Группа затрат 3</b>	
Оплата по договору гражданско- правового характера	53050,0
Итого база для начисления ЕСН (п.1+п.2+п.3)	<b>7496424,75</b>
<b>Группа затрат 4</b>	
Оплата больничных листов за счет работодателя	9864,47
Пособия за счет ФСС (временная нетруд.)	74389,67
Пособие по уходу за ребенком до 1,5 лет	4200,0
Пособие по уходу за ребенком до 3-х лет	300,0
Компенсация за доср. раст. договора в пределах норм (ст.181 ТК РФ)	78000
Компенсация за отпуск	182873,53
Итого Кредит б/сч. 70 (п.1+п.3+п.4)	<b>7846052,42</b>
<b>Группа 5</b>	
Суммы в корреспонденции с б/сч. 50, 51	–
Всего Кредит б/сч. 70 (п.1+п.3+п.4+п.5)	7846052,42

ЕСН, начисленный за 1 полугодие, составил 134885,56 руб. как по данным ведомости ф-4, так и по данным бухгалтерского учета.

Аудит начисления пособия по временной нетрудоспособности выполнялся с учетом среднегодневного заработка, который рассчитывался исходя из суммы фактического заработка и суммы премии.

В нарушение Постановления Правительства РФ от 11.04.2003 года №213 (с изменениями от 18.11.2003 г), а также Письма ФСС от 25.02.04 № 02-18/07-1202 расчет среднегодневного заработка для определения больничных выполнялся недостоверно.

**Проверка тождественности данных сводных ведомостей и данных бухгалтерского учета по начислению заработной платы**

Наименование	Начислено по бюджетной деятельности	Начислено по хозяйственной деятельности	Всего
ФОТ	6671311,18	1174750,25	7846052,42
Сальдо 97 на 01.07.06	271098,97	19369,02	290467,99
Выплаты за счет ФСС	71285,52	7304,34	78589,86
Итого	6328926,69	1148076,89	7477003,58
Бухг. проводка Д 26 Б/70	6329460,88	1147533,88	7476994,76
Отклонения	-534,19	+ 543,01	+8,82

В соответствии с п.14 Постановления: «если в расчетном периоде время отработано работником не полностью, то премии учитываются пропорционально отработанному времени». Фактически в расчете учитывалась вся сумма начисленной премии вне зависимости от отработанного времени. В ответе на 12 вопрос Письма ФСС от 25.02.04 № 02-18/07-1202 изложен алгоритм расчета среднедневного заработка с корректировкой премии в зависимости от числа отработанных дней. Например, А.В. Волковой начислено пособие в сумме 6318,60 руб. Среднедневной заработок, участвующий в расчете, – 421,24 руб. Следует использовать – 420,46 руб. Следовало начислить 6306,9 руб. Излишне начислено 11,7 руб.

В результате аудиторской проверки руководству предприятия необходимо пересчитать

начисленное пособие и выплаты за счет ФОТ за 1 полугодие 2006 г. Устранение выявленных нарушений позволит организации избежать существенных штрафных санкций.

Действия аудитора в случае выявления им искажений бухгалтерской отчетности в ходе и по результатам аудиторской проверки определены федеральным правилом (стандартом) аудиторской деятельности № 13 «Обязанности аудитора по рассмотрению ошибок и недобросовестных действий в ходе аудита».

Основные итоги аудиторской проверки доводятся до сведения руководства предприятия и его собственников. Аудиторы оказывают помощь в разработке плана оперативных мероприятий по ликвидации выявленных замечаний и нарушений и разрабатывают модель превентивных действий для предотвращения ошибок.

**ИНВЕСТИЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДРЕВЕСНЫХ ПРОДУКТОВ ЛЕСА**

Б.О. ХАШИР, доц. каф. экономики и финансов Кубанского ГТУ, канд. экон. наук

На территории нашей страны в лесных и лесостепных районах произрастает около 100 видов плодовых и ягодных растений. По типу строения плодов и биологическим особенностям они подразделяются на косточковые, семечковые и ягодные (настоящие, сложные, ложные ягоды). Важнейшие представители семечковых пород – яблоня, груша, рябина, боярышник, мушмула, айва и ирга; косточковых – абрикос, вишня, черемуха, слива, кизил (дерен мужской), терн, калина и лох; представители других групп – гранат и гранатник, облепиха, шелковица, хурма, инжир, унаби.

К ягодным дикорастущим растениям относятся клюква болотная и мелкоплодная, брусника, красника, черника, голубика, малина,

морозника, костяника, княженика, ежевика, смородина, жимолость, земляника, виноград амурский, лимонник китайский, актинидия и др.

Рациональное и неистощительное использование ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений невозможно без определения урожайности и запасов, прогнозирования урожайности, а также без знания территориального размещения этих ресурсов.

Определение запасов сырья пищевых и лекарственных растений обычно проводят в камеральных условиях с использованием регионально-справочных таблиц с типами условий произрастания (типами леса или типами лесорастительных условий) и таксационной характеристикой насаждений.

Зная урожайность (запас сырья на единице площади, кг/га) пищевых или лекарственных растений в различных типах растительных условий (типах леса) и площадь участка (выдела), для которого ведутся расчеты, получают величину запаса сырья пищевых или лекарственных растений на этой территории.

При отсутствии нормативно-справочных таблиц или при необходимости получения точных данных о запасах сырья пищевых и лекарственных растений пользуются общепринятыми в ресурсоведении методами. В этих случаях для определения запасов пищевых или лекарственных растений необходимо знать две величины – площадь заросли и урожайность (запаса сырья на ед. площади).

Площадь заросли определяют, приравнивая ее очертания к какой-либо геометрической фигуре (прямоугольнику, квадрату, трапеции, кругу и т.д.) и измеряют параметры (длину, ширину, диаметр и т.д.), необходимые для расчета площади этой фигуры. Измерять можно шагами или другими общеизвестными методами. Если заросль соответствует выделу на плане лесонасаждений, ее площадь устанавливают по материалам лесоустройства.

Урожайность можно определить несколькими способами, выбор которых зависит от органа, используемого в качестве сырья, и жизненной формы изучаемого вида. Для некрупных травянистых и кустарничковых растений, у которых в качестве сырья используют надземные органы (листья и «трава» ландыша, листья и побеги брусники, соцветия бессмертника, «трава» тысячелистника и зверобоя и т.д.), урожайность определяют на учетных площадках. При оценке урожайности подземных органов или крупных растений (прежде всего деревьев и кустарников) пользуются методом модельных экземпляров. Для низкорослых травянистых растений в некоторых случаях рекомендуется также метод оценки урожайности по их проективному покрытию.

При определении урожайности методом учетных площадок их закладывают равномерно на определенном расстоянии друг от друга, стараясь охватить весь промысловый массив (заросль). Можно располагать их на параллельных или перпендикулярных ходах, по диагонали или «конвертом». Площадки закладывают через определенное число шагов или метров (3, 5, 10, 20) независимо от наличия или отсутствия экземпляров

изучаемого вида в данном выделе (заросли). Нельзя располагать учетные площадки субъективно, выбирая для них наиболее типичные места.

В оптимальных случаях достаточная точность определения урожайности может быть достигнута при заложении 15 площадок, при неравномерном распределении вида их число достигает 50, но в большинстве случаев для определения урожайности достаточно заложить 25 площадок размером 1 м<sup>2</sup>.

Размер площадок зависит от величины взрослых экземпляров изучаемого вида. Достаточным считается такой, при котором на площадке помещается не менее 5 взрослых экземпляров изучаемого вида. При одинаковой трудоемкости работ большее количество мелких учетных площадок дает более точный результат, чем меньшее количество более крупных площадок, так как точность определения урожайности тем выше, чем больше заложено учетных площадок. Для травянистых видов или кустарничков закладывают площадки размером от 0,25 до 4,0 м<sup>2</sup> (любой формы).

На каждой учетной площадке собирают всю массу сырья и затем рассчитывают среднюю величину урожая на единицу площади. При определении урожая ягод их можно не собирать, а подсчитать на учетных площадках. Затем отбирают несколько образцов ягод по 100 шт. в каждом и определяют среднюю массу одной ягоды.

Ориентировочные данные о необходимом числе площадок для определения урожайности можно получить на основании разницы между минимальной и максимальной массой сырья, собранного с одной учетной площадки. Например, если заложено 15 площадок, а минимальное и максимальное количество сырья, собранного с одной площадки, различается не более чем в 5–7 раз, можно ограничиться этим числом площадок. При разнице между минимальной и максимальной массой в 15–20 раз необходимо заложить еще 15–20 площадок.

При оценке урожайности методом модельных экземпляров необходимо установить 2 показателя – численность четных экземпляров (побегов, стволиков) на единице площади и среднюю массу сырья, получаемую с одного экземпляра (побега).

При работе по этому методу счетной единицей может быть экземпляр (например экземпляр щитовника мужского) или побег (например

побег малины или шиповника). Использовать побег как счетную единицу удобно в тех случаях, когда границы экземпляра трудно определить, отдельные экземпляры очень сильно варьируют по степени развития или сбор сырья с целого экземпляра очень трудоемок (например у липы).

Подсчет численности экземпляров (побегов, стволиков) проводят на учетных площадках размером от 0,25 до 10,0 м<sup>2</sup>, заложенных равномерно в пределах заросли или на маршрутных ходах.

Размер площадок определяется размерами экземпляра изучаемого вида, а их число – густотой заросли и равномерностью распределения изучаемого вида по площади. Для господствующих в травостое видов при относительно равномерном распределении обычно достаточно заложить 15–20 площадок, при меньшем обилии и неравномерном распределении их число возрастает до 30–50.

Если численность растений невелика (на 1 м<sup>2</sup> приходится меньше одного экземпляра), ее подсчитывают на маршрутных ходах в полосе шириной 1–2 м. Для получения достоверных данных необходимо провести подсчеты на 25–40 отрезках маршрутного хода длиной 20, 50 или 100 шагов.

Для определения сырьевой массы модельные экземпляры (побеги) отбирают на учетных площадках или на маршрутном ходе без субъективного выбора «типичных». Наиболее объективен систематический отбор, когда в качестве модельной отбирают каждый второй, пятый или 10-й экземпляр, встреченный на маршрутном ходе.

При определении массы подземных органов, соцветий или плодов достаточно 40–60 модельных экземпляров, надземных органов – 100 и больше. Если экземпляры сильно различаются по размерам, их разбивают на 2–3 группы. При разбивке на группы подсчет численности экземпляров нужно проводить по каждой группе отдельно.

У каждого модельного экземпляра взвешивают подлежащие заготовке части растения и затем рассчитывают их среднюю массу.

Урожайность рассчитывают, умножая среднюю численность экземпляров на среднюю массу сырья одного модельного экземпляра. При определении урожайности методом проективного покрытия устанавливают 2 величины: среднее проективное покрытие вида в пределах заросли и выход сырья с 1 % проективного покрытия – так называемую «цену» 1 % проективного сы-

рья (проективное покрытие – это проекция надземных частей растения на поверхность почвы). Определяют его тремя способами: глазомерно, сеточкой Раменского, квадратом-сеткой. Квадрат-сетка – деревянная или металлическая рамка площадью 1 м, разделенная тонкой проволокой, шпагатом или леской на 100 квадратов по 1 дм (10 × 10 см), каждый из которых равен 1 % площади. Квадрат-сетку накладывают сверху на учетную площадку, и по количеству квадратов, полностью или более чем наполовину занятых надземными частями растения изучаемого вида, определяют процент проективного покрытия.

Для определения «цены» 1 % на каждой площадке срезают и взвешивают сырье с 1 дм<sup>2</sup>. Урожайность рассчитывают как произведение среднего проективного покрытия на цену 1 %. Этот метод оценки урожайности удобен при работе с невысокими или стелющимися растениями, такими как брусника, толокнянка или тимьян ползучий (чабрец).

Сеточка Раменского – пластмассовая или фанерная пластина с прорезанным прямоугольным отверстием 2 × 5 или 2 × 10 см, площадь которого разделена ниткой или проволокой на 10 квадратов или прямоугольников, каждый из которых соответствует 10 % покрытия. Через эту сеточку, держа ее на уровне груди, определяют, какую площадь занимают надземные органы растения изучаемого вида. Поскольку через сеточку видна лишь часть учетной площадки, на каждой из них проводят 8–10 определений, стараясь охватить всю поверхность площадки. Среднее значение этих определений составляет проективное покрытие на площадке. Для оценки проективного покрытия заросли такие определения надо провести на 15–20 учетных площадках.

Наиболее простым, но самым неточным методом является глазомерное определение проективного покрытия. Оценивают его на каждой учетной площадке, глядя на нее сверху и прикидывая, какую часть площадки занимают надземные части изучаемого растения, если они будут плотно примыкать друг к другу. Этот способ могут применять только опытные исследователи при достаточной натренированности. Тренировка глазомера происходит при работе квадратом-сеткой и сеточкой Раменского.

При организации заготовок большое значение имеют время и способы сбора плодов и ягод, применяемая для сбора и транспортировки

тара, время доставки собранных плодов и ягод в места их непосредственного потребления или переработки. Собирают плоды и ягоды в сухую погоду, так как мокрые они быстро портятся и плесневеют. Большинство дикорастущих плодов и ягод очень нежны, легко повреждаются и быстро закисают. Поэтому многие плоды и ягоды собирают вместе с плодоножками или целыми кистями. Из ягод исключение составляют только клюква и брусника. Ягоды созревают неодновременно, поэтому их сбор следует проводить в несколько приемов. Не следует собирать недозрелые и перезрелые плоды и ягоды.

В зависимости от назначения плоды и ягоды собирают в различной стадии зрелости. Для использования в свежем виде, реализации, производства соков их собирают в стадии полной зрелости, когда в плодах и ягодах накапливается наибольшее количество питательных веществ и они обладают наилучшими вкусовыми качествами. Для консервирования и транспортировки лучше собирать ягоды в съемной или технической стадии зрелости (слегка недозревшими), когда они имеют повышенную плотность тканей и сохраняют форму при температурной обработке. Собранные ягоды не моют и стараются не пересыпать в другую тару. Качество заготавливаемых плодов и ягод нормируется действующими стандартами.

Для сбора и упаковки дикорастущих ягод используют ящики, решета, корзины из шпона, дранки, луба, а также из прутьев, обшитые внутри тканью. Лучшей считается жесткая тара вместимостью 2–3 кг. Тару заполняют вровень с краями, не переполняя. Для перевозок ее обшивают марлей. Мелкую тару укладывают в клетки, контейнеры, ящики. Тара должна быть чистой, сухой, целой, не зараженной вредителями, без плесени и посторонних запахов, удобной, дешевой, простой в изготовлении, безвредной и обеспечивать защиту продукции от повреждений. Упаковывать ягоды желательно в местах сбора.

В увеличении объемов заготовки плодов и ягод решающее значение имеет использование приспособлений и механизмов для их сбора. В настоящее время существуют приспособления (совки) для сбора клюквы и брусники, а также веткорезы, предназначенные для малой механизации сбора гроздьев калины, рябины, бузины, черемухи, винограда и небольших веток с обильными цветками липы, веток березы с почками, ольхи черной с шишками и др.

Рациональное использование дикорастущих плодов и ягод возможно только при их сохранении и первичной переработке в местах заготовки. Максимальные сроки хранения ягод до переработки не должны превышать 8 ч, в холодильных камерах с температурой 0–1 °С – 5 суток.

Простейший способ первичной переработки ягод – пересыпание их сахаром (в соотношении 1 : 1). Однако в такой продукции быстро начинается процесс брожения. Наилучшие результаты дает засыпание сахаром клюквы, брусники и других ягод, содержащих бензойную кислоту или имеющих плотную кожицу. Они могут храниться в холодильных камерах до 3 мес., а облепиха – до 5–6 мес.

Существует ряд методов обработки дикорастущих плодов и ягод, направленных на удлинение сроков их хранения. Целью некоторых из них является замедление и подавление жизнедеятельности микроорганизмов в сырье (замораживание, сушка, маринование, мочение и др.), других – прекращение жизнедеятельности микроорганизмов с одновременным прекращением жизненных процессов в сырье (стерилизация и др.).

Быстрозамороженные плоды (ягоды) представляют собой целые или нарезанные части, упакованные и замороженные ускоренным способом до температуры –18 °С и предназначенные для хранения и реализации при этой температуре. Чаще других замораживают алычу, кизил, калину, ежевику, землянику, клюкву, малину, облепиху, смородину (черную и красную), чернику. После заморозки плоды и ягоды упаковывают в мелкую тару. Хранят быстрозамороженную продукцию в холодильных камерах при температуре – 18 °С и относительной влажности воздуха не ниже 95 %. Срок хранения – не более 12 мес. со дня заморозки для плодов и не более 9 мес. для ягод.

Мочение – старый народный способ хранения дикорастущих плодов и ягод. При мочении отсортированное сырье, освобожденное от поврежденных экземпляров, моют, укладывают в тару (бочки, эмалированные емкости, стеклянные банки) и заливают заливкой (для брусники и клюквы – 5–10 % раствор сахара или прокипяченная и остуженная вода). После 3–5-суточной выдержки в теплом помещении емкости с продукцией укупуривают и переносят в охлажденное хранилище.

Сушка – один из традиционных надежных способов хранения плодов и ягод. Сушить можно все дикорастущие плоды и ягоды. Сушеные пло-

ды и ягоды требуют для хранения значительно меньших площадей, легко перевозятся и хорошо хранятся. Для сушки используют зрелые плоды и ягоды характерной окраски, которые сортируют, удаляют дефектные экземпляры и посторонние примеси, моют. Ягоды с толстой плотной кожицей (клюкву, черную смородину) бланшируют и сушат в естественных условиях или в специальных сушилках. По химическому составу сушеные плоды и ягоды представляют собой концентрированные и высококалорийные продукты питания, богатые углеводами.

Существуют различные способы сушки. Наиболее распространена сушка теплым воздухом, при которой используют сушильные установки различных конструкций: туннельные, шахтные, ленточные, конвейерные. В них температура нагретого воздуха не превышает 80 °С, что исключает подгорание, удельная нагрузка составляет 5–16 кг/м<sup>2</sup>, время сушки – 6–10 ч. Сырье сушится без перемешивания. Длительный срок сушки отрицательно сказывается на качестве готового продукта.

Наиболее прогрессивным способом, но ограниченно применяемым в России, является сублимационная сушка (сублимация – сушка сырья в замороженном состоянии в условиях глубокого вакуума). Небольшие партии сырья можно сушить под навесами на сухих чердаках и в других проветриваемых помещениях. Качество готовой продукции зависит от качества сырья, тщательности проведения подготовки к сушке, способа сушки и упаковки продукции. Упакованные сушеные плоды и ягоды перевозят всеми видами транспорта с соблюдением санитарных норм и правил. Сушеные плоды и ягоды хранят в сухих, чистых, проветриваемых помещениях (складах), не зараженных амбарными вредителями и грызунами, при относительной влажности воздуха 65–70 % и температуре от 5 до 20 °С (без резких колебаний). Срок хранения зависит от вида продукции и герметичности упаковки, чаще всего 1–2 года, для черемухи и шиповника – до 3 лет для переработки.

Консервы из дикорастущих плодов и ягод подразделяют на следующие группы: натуральные (плоды в натуральном соке); ягоды пастеризованные с сахаром; пюреобразные, в том числе протертые и дробленые плоды и ягоды; компоты и маринады (стерилизованные и пастеризованные); варенье, джем, повидло.

Натуральные консервы готовят из брусники, клюквы, черники, яблок, калины; соки, ягоды, пастеризованные с сахаром – из брусники, голубики, красной смородины, клюквы, черники. Пюреобразные консервы разнообразны по видам используемого сырья и включают не только широко известные, но и сравнительно редко используемые ягоды: морошку, лимонник, жимолость, краснику. Некоторые плоды и ягоды (яблоки, алычу, чернику) используют в составе двухкомпонентных смесей.

Соки – наиболее ценная группа консервов. Для их производства пригодны почти все виды дикорастущих плодов и ягод. Соки могут быть получены как из одного вида сырья, так и из смеси (купажированием).

Компоты готовят преимущественно из свежих плодов и ягод, а также из замороженного сырья. Для их приготовления чаще всего используют алычу, кизил, терн, землянику, малину, смородину, ежевику, морошку, бруснику, клюкву, яблоки.

Приготовление варенья – один из наиболее широко применяемых способов переработки дикорастущих плодов и ягод. Его готовят из кизила, алычи, брусники, ежевики, жимолости, земляники, клубники, голубики, малины, рябины, черники, черной смородины и др. Подготовка ягод и плодов состоит из сортировки, мойки, освобождения от плодоножек, чашелистиков и других несъедобных частей. Некоторые плоды (алычу, кизил) бланшируют. Сиропы готовят из сахара, иногда с добавлением 15 % патоки (чтобы варенье не засахаривалось). Используют однократную или многократную варку, при которой процесс варки чередуется с выдержкой плодов в горячем сиропе. При многократной варке получают высококачественное варенье, в котором плоды (ягоды) сохраняют форму, цвет, вкус и аромат.

Для приготовления джемов используют алычу, ежевику, землянику, голубику, бруснику, рябину, чернику, смородину и другие плоды и ягоды. Способ приготовления такой же, как для варенья и компотов. Варка однократная.

Маринады готовят из свежих и замороженных плодов и ягод одного вида или их смеси. В состав маринадной заливки входят вода, уксусная кислота, сахар, корица, гвоздика. Из дикорастущих плодов и ягод обычно готовят слабокислые маринады, для приготовления которых используют яблоки, груши, кизил, смородину, морошку. При производстве маринадов плоды и ягоды сортируют, моют, режут, (некоторые виды), готовят

маринадную заливку, наполняют и укупоривают тару (банки вместимостью не более 3 л), стерилизуют. Все продукты переработки дикорастущих плодов и ягод должны соответствовать требованиям существующих ГОСТ, ОСТ, ТУ и другой нормативно-технической документации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Экономические аспекты управления малым бизнесом лесопромышленного комплекса» проект № 05-02-021-64а.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ

И.А. КИСЛУХИНА, доц. каф. менеджмента Югорского ГУ, канд. экон. наук

Лесопромышленный комплекс (ЛПК) Ханты-Мансийского автономного округа Югры имеет большое значение как для экономики региона, так и для экономики России в целом, обеспечивая древесным сырьем многие отрасли народного хозяйства и предоставляя рабочие места в разное время до 50 % трудоспособного населения округа [1]. Лесопромышленное производство является традиционным для данного региона, поскольку Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) расположен в природно-климатической зоне произрастания ценных хвойных пород деревьев, таких как кедр, сосна, ель, пихта, лиственница. По оценкам экспертов, заготавливаемая в регионе древесина уникальна по физическим и химическим свойствам и может использоваться во многих отраслях промышленности: в жилищном и промышленном строительстве, в мебельном производстве, в производстве шпал, в кораблестроении, при строительстве шахт, в целлюлозно-бумажном производстве и химической промышленности [2].

Развитие лесопромышленного производства в округе обусловлено наличием больших запасов лесных древесных ресурсов, которые на сегодняшний день составляют 3,2 млрд м<sup>3</sup>, или 4 % от общероссийских запасов.

Земли лесного фонда занимают 90 % территории округа, их общая площадь равна 49,8 млн га. Средний процент лесистости – 50,4 %. Лесистость территории ХМАО выше, чем в среднем по России, на 5,7 % [3].

В Ханты-Мансийском автономном округе лесопромышленный комплекс представлен пре-

### Библиографический список

1. Хашир, Б.О. Маркетинговые аспекты экономического управления лесопромышленным комплексом: монография / Б.О. Хашир, О.З. Хуажев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 140 с.
2. Хашир, Б.О. Экономические аспекты управления малым бизнесом лесопромышленного комплекса: монография / Б.О. Хашир, О.З. Хуажев. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 204 с.
3. Хашир, Б.О. Управление в экономических системах предприятий лесного комплекса: монография / Б.О. Хашир, В.С. Петровский, О.З. Хуажев. – Воронеж: ВГУ, 2006. – 239 с.

имущественно лесозаготовительными предприятиями (табл. 1) [3].

Т а б л и ц а 1

### Структура лесопромышленного комплекса, %

Предприятия ЛПК	Россия	ХМАО
лесозаготовительные	21	82
деревообрабатывающие	45	18
целлюлозно-бумажные	33	–
лесохимические	1	–
Всего	100	100

В развитии лесопромышленного производства на территории Ханты-Мансийского автономного округа, полагаем, можно выделить три основных этапа (рис. 1).

**Первый этап – дореволюционный** (рис. 1). Заготовка древесины в этот период велась, в основном для обеспечения дровами местного населения и появившихся в этих краях пароходов, а также для строительства жилья, хозяйственных построек и деревянного судостроения.

**Второй этап – советский**, в котором можно выделить два периода. Первый период (1920–1950 гг.) связан с началом промышленного освоения лесного фонда округа; второй период (1960–1980 гг.) характеризуется коренным преобразованием лесной отрасли после открытия на территории ХМАО нефтяных и газовых месторождений (рис. 1). Промышленное освоение лесного фонда началось в 20-е гг. прошлого столетия, сразу после гражданской войны. Архивные материалы свидетельствуют о том, что в 20-е гг.

на территории округа было заготовлено около 1 млн м<sup>3</sup> древесины. Лесозаготовки вел Тобольский леспромхоз, входивший в трест «Иртышураллес». Древесина заготавливалась как для внутреннего потребления – на нужды округа и обеспечение Северного морского пути, так и на экспорт. В начале 30-х гг. были образованы самостоятельные лесозаготовительные сплавные предприятия: Кондинский лесопромышленный комбинат, Ханты-Мансийский и Сургутский леспромхозы, построен Белогорский деревообрабатывающий завод. На них преобладал ручной труд, использовались лучковая пила и топор, сортаменты и пиломатериалы вывозились на лошадях. В 30-е гг. в округе было заготовлено около 1,5 млн м<sup>3</sup> древесины [4].

Во время Великой Отечественной войны лесная промышленность региона работала на оборонный заказ, выпуская заготовки для прикладов, лыж, снарядных ящиков, авиафанеры, понтонных брусьев и др. Послевоенный период развития лесной промышленности округа связан с восстановлением разрушенного народного хозяйства страны, обеспечениемстроек, шахт, сельского хозяйства продукцией лесопромышленного

комплекса. Продукция лесопромышленного комплекса поставлялась на Крайний Север Тюменской области, в Среднюю Азию, на Украину и другие регионы страны.

Коренное преобразование лесной отрасли в округе началось в 60-е гг. XX века после открытия на его территории нефтяных и газовых месторождений. Нефтяникам и геологам нужна была древесина для строительства дорог, жилья, возникла необходимость прорубки трасс под нефте- и газопроводы, под площадки бурения, линии электропередачи (ЛЭП). Для освоения больших запасов перестойных хвойных лесов Советского, Октябрьского и Кондинского районов в 1960–1967 гг. были построены две железные дороги: Тавда – Сотник и Ивдель – Обь. Вдоль строящихся дорог создавались новые леспромхозы: Куминский, Южно-Кондинский, Междуреченский, Пионерский, Алябьевский, Малиновский, Таежный и др. Всего было образовано 12 лесозаготовительных предприятий, примыкающих к указанным железным дорогам [3].

Как отмечают специалисты, развитие лесопромышленного комплекса в округе шло в направлении экстенсивного роста заготовки древесины.



Рис. 1. Этапы развития лесопромышленного производства на территории Ханты-Мансийского автономного округа Югры

Не реализованы намечавшиеся проекты по организации крупных лесоперерабатывающих комплексов, не построено ни одного предприятия по химической переработке древесины, производству древесноволокнистых плит (ДВП). По мере развития нефтегазодобычи, наряду с рубками главного пользования, значительные масштабы приобрели прочие рубки, связанные с расчисткой лесных площадей под строительство трасс для перетаскивания бурового оборудования, прокладку нефтегазопроводов, сооружение площадок под кусты скважин, нефтенасосные и компрессорные станции, факельные устройства, строительство автодорог, линий электропередачи и связи и т. п. Объем вырубаемой древесины по прочим рубкам в среднем по округу составлял от 15 до 35 %, а в Нефтеюганском, Сургутском и Нижневартовском районах он практически равнялся объемам заготовок по главному пользованию [5].

По словам эколога и краеведа Б.Е. Чижова, огромные размеры покрытых лесом площадей и значительные суммарные запасы древесины создали ошибочное представление о неисчерпаемости лесных ресурсов. В действительности высокопродуктивных насаждений в округе немного. Обширные пространства заняты болотами. Массивы сосняков на огромном междуречье Средней Оби редкостойны, малопродуктивны и интереса для лесозаготовок не представляют [5].

Высокая интенсивность рубок основывалась на завышенной расчетной лесосеке. Лесные ресурсы округа оценивались по тем же критериям, что и леса средней полосы европейской части России, без учета суровых природно-климатических условий севера, в которых приросты леса существенно замедлены. Как отмечает А.М. Вегерин, техническая спелость хвойных древостоев, произрастающих в северных широтах, достигается за 141–160 лет, то есть в VIII классе возраста. Следовательно, возраст рубки необходимо устанавливать не ранее чем с VIII класса, что на 1–2 класса выше возраста рубки, определяемого для древостоев средней полосы [6].

Кроме того, в эксплуатационный лесной фонд округа были включены древостои Va-Vб бонитетов, произрастающие на заболоченных территориях, заготовка которых является экономически нецелесообразной и неприемлемой с точки зрения экологии, поскольку их рубка будет сопровождаться усилением процессов заболачивания. Из эксплуатационных запасов не были

исключены и запрещенные для рубки семенники и запасы кедровых насаждений, не учитывалась гибель древостоев от лесных пожаров, а также потери лесных земель, отведенных или подлежащих отводу под промышленные объекты и коммуникации. Общая расчетная лесосека, установленная по округу в 1978 г. в объеме 29,0 млн м<sup>3</sup>, к настоящему времени снижена до 22,1 млн м<sup>3</sup>, но, по мнению ученых, она все равно остается завышенной на 25–30 % [5, 6].

Нерациональную эксплуатацию лесосырьевой базы ученые объясняют также неразвитостью деревообрабатывающей промышленности в регионе. Как отмечает Б.Е. Чижов, несмотря на исключительную ценность северной мелко-слойной древесины, выпускаемая продукция лесопиления примитивна в ассортименте и не соответствует европейским стандартам, неконкурентоспособна и употребляется главным образом на местные нужды. За пределы округа вывозится только крупномерная древесина в круглом виде, а на лесосеках остается более 50 % древесной массы, пригодной для переработки. О неразвитости деревообрабатывающей промышленности в Ханты-Мансийском автономном округе свидетельствует структура производства товарной продукции предприятий лесной отрасли, представленная в табл. 2 [3, 5].

Т а б л и ц а 2

**Глубина переработки древесины  
в процентах от общего объема заготовок  
в 1980–1990 гг.**

Леспромпхозы	Круглый лес	Пиломатериалы	Шпалы
Комсомольский	65–76	15–24	8–11
Ун-Юганский	71–91	6–18	4–11
Пионерский	77–80	14–16	7–9
Советский	82–90	3–16	2–7
Зеленоборский	83–93	4–6	3–11
Самзасский	83–94	2–12	3–5
Торский	84–96	1–13	2–3
Няганский	90–93	5–9	1–2
Куминский Сергинолес	92–100	5–8	0–1
Южно-Кондинский	96–100	2–4	0–1
Балькский	100	–	–
Нижневартовский	100	–	–
Мегионский	100	–	–

Анализ развития лесопромышленного комплекса в советский период позволяет сделать вывод о том, что в результате существенного завышения оценки запасов древесины в округе были созданы лесозаготовительные предприятия,

ориентированные на гигантские объемы лесозаготовок. Это привело, во-первых, к быстрому истощению лесосырьевых ресурсов, а во-вторых, поставило под угрозу дальнейшее развитие предприятий ЛПК и экономики региона в целом, поскольку лесопромышленные предприятия ХМАО выполняли функции градообразующих. По нашему мнению, существование такого количества крупных лесозаготовительных предприятий в данном регионе могло иметь место только в условиях социалистической планово-регулируемой экономики, когда государство обеспечивало предприятия заказами и гарантировало сбыт произведенной продукции. В условиях рыночных отношений предприятия, ориентированные на производство больших объемов лесоматериалов, в основном круглых, при отсутствии глубокой переработки древесины неизбежно стали бы нерентабельными. Убыточность таких предприятий обусловлена проблемами транспортировки (высокими железнодорожными тарифами и экспортными пошлинами) и проблемами сбыта продукции (необходимостью сбыта больших объемов лесоматериалов при ограниченной емкости внутреннего рынка и труднодоступности внешнего). Так, в 1988 г. был заготовлен максимальный объем древесины – 12941 тыс. м<sup>3</sup>, в 1990 г. произведено максимальное количество пиломатериалов – 1616 тыс. м<sup>3</sup> [4], а с переходом России на рыночные отношения в 1991 г. экстенсивный рост объемов лесозаготовок прекратился и объемы производства продукции ЛПК стали резко сокращаться.

**Третий этап – постсоветский**, связан с глубоким экономическим кризисом 1990-х годов и началом его преодоления в первом десятилетии XXI века (рис. 1). Состояние лесопромышленного комплекса 1990-х гг. характеризуется следующими данными [3, 4]:

1. Произошло резкое снижение объемов производства основных видов продукции. Так, объем вывозки древесины снизился с 10200 тыс. м<sup>3</sup> в 1991 г. до 1642 тыс. м<sup>3</sup> в 1999 г., а производство пиломатериалов за аналогичный период сократилось с 1477 тыс. м<sup>3</sup> до 418 тыс. м<sup>3</sup>, существенно снизился объем производства железнодорожных шпал – с 1361 тыс. м<sup>3</sup> до 231 тыс. м<sup>3</sup>.

2. Прекратилось производство некоторых видов продукции. Так, в 1995 г. был прекращен выпуск стандартных деревянных домов, а с 1997 г. прекращено производство живицы.

3. Многократно снизился уровень технического обновления производства, особенно лесозаготовительной техники, износ которой к концу 90-х годов достиг 80 %. Коэффициент обновления машин, равный 10,3 % в 1990 г., в 1999 г. составлял только 0,6 %.

4. Прекращено строительство лесовозных дорог круглогодичного действия. Так, в 1988 г. было построено 200 км таких дорог, в 1991 г. – 111 км, а в 1997–1999 гг. – 0 км.

5. Большинство предприятий округа стали нерентабельными и неплатежеспособными. Многие предприятия прошли процедуры банкротства и/или реорганизации. На 01.01.1998 г. кредиторская задолженность наиболее крупных лесопромышленных предприятий в бюджеты различных уровней (с учетом пени и штрафов) составила 211,87 млн руб., во внебюджетные фонды – 45,6 млн руб., при выпуске товарной продукции всем лесопромышленным комплексом в 1998 г. на сумму 405 млн руб.

6. Установился низкий уровень заработной платы работников лесной промышленности (в среднем в два раза ниже, чем в других отраслях промышленности округа), что стало причиной текучести кадров.

7. Доля продукции лесопромышленного комплекса в выпуске промышленной продукции округа в конце 90-х гг. составляла всего 0,4 %.

С 2000 г. начался процесс постепенного преодоления кризиса в лесной отрасли. По заказу правительства ХМАО в 2000 г. была разработана «Региональная программа развития и реструктуризации лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа на 2001–2010 гг.» [2]. В рамках данной программы планировалось осуществление целого ряда мероприятий по реструктуризации действующих и строительству новых предприятий ЛПК на территории округа, а также был представлен график работ и источники финансирования этих мероприятий. Принятие программы и начало финансирования мероприятий по реструктуризации предприятий ЛПК оказало заметное влияние на развитие лесопромышленного комплекса округа. Впервые с 1991 г. динамика показателей производства основных видов продукции стала положительной. Тем не менее, говорить о преодолении экономического кризиса в лесопромышленной отрасли, на наш взгляд, еще рано. Реструктури-

зация лесопромышленного комплекса ХМАО требует значительных инвестиций, строительства предприятий по глубокой переработке древесины, внедрения современных производственных технологий и привлечения в отрасль квалифицированных специалистов.

Исследование процесса развития лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа позволяет выявить причины кризисного состояния лесопромышленных предприятий, продолжающегося вплоть до настоящего времени. По нашему мнению, все причины кризиса можно подразделить на две группы: *внешние* и *внутренние* (рис. 2).

К внешним причинам относятся *макроэкономические*, обусловленные трудностями перехода к рыночным отношениям. Эти причины являются общими для всего лесопромышленного комплекса России. Среди макроэкономических причин кризиса можно выделить следующие: высокие налоги; высокие тарифы на железнодорожные перевозки; высокие экспортные пошлины; высокие цены на электроэнергию, топливо, ГСМ; высокий уровень инфляции; слабая законодательная база, регулирующая лесопользование; недостаток инвестиций, в том числе финансирования государственных целевых программ (рис. 2).

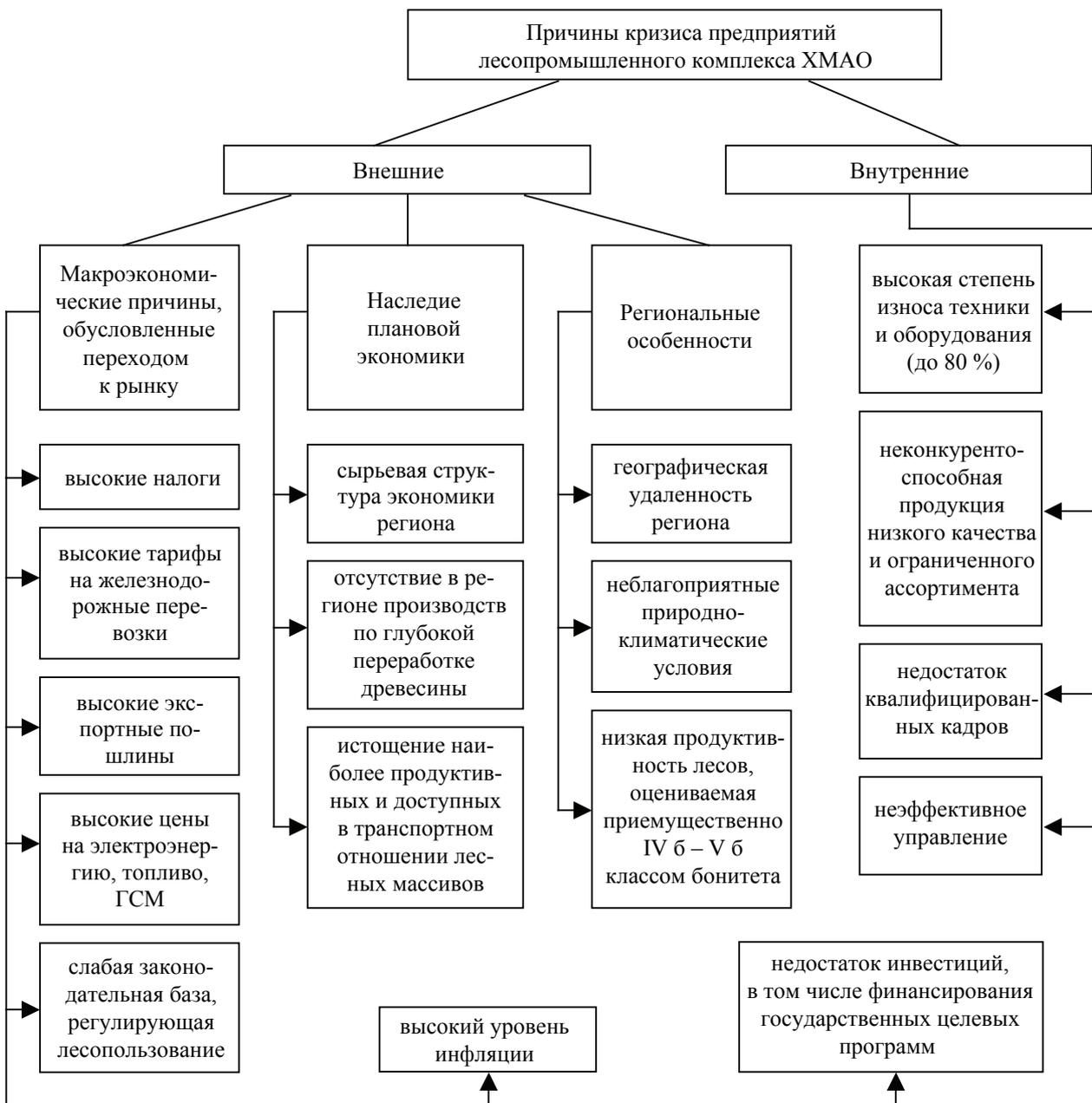


Рис. 2. Причины кризиса предприятий лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа Югры

Также можно выделить группу *региональных факторов*, характеризующих специфические условия функционирования предприятий в Ханты-Мансийском автономном округе.

*Географическая удаленность региона от основных центров переработки древесины и потребителей.* Как отмечает В.А. Егорнов, наличие большого количества предприятий, расположенных в удалении от рынков сбыта (в том числе зарубежных) и центров переработки древесины, привело к тому, что продукция этих предприятий стала неконкурентоспособной. При огромной территории и слаборазвитой транспортной инфраструктуре данные лесозаготовительные предприятия заведомо оказались в более сложных условиях, чем предприятия европейской части России. Более высокие темпы роста железнодорожных тарифов в сравнении с ценами на лесопромышленную продукцию привели к росту транспортной составляющей. Затраты на перевозку круглого леса в настоящее время достигают 75 % его цены [7]. По оценкам экспертов, установленные в настоящее время железнодорожные тарифы делают нерентабельными перевозки круглого леса на расстояние свыше 1000 км, а пиломатериалов – свыше 2500 км [8].

*Неблагоприятные природно-климатические условия.* Ханты-Мансийский автономный округ – северный регион России. Его территория заключена между 58 и 66 с. ш. и 59 и 86 в. д. Большая часть года в данной местности (около 8 месяцев) приходится на зиму, отличающуюся низкими температурами и обильным снегопадом. Лето короткое и дождливое. Территория округа расположена в центральной части Западно-Сибирской равнины – одной из крупнейших низменностей Земли. Западно-Сибирскую равнину ученые называют «природным феноменом по концентрации болот и по прогрессирующему заболачиванию территории». Площадь заболоченных земель составляет 20,8 млн га, или почти половину территории округа, исключая водные пространства [9]. Средняя скорость расползания кромок болот – 10–15 см в год, что приводит к ежегодному заболачиванию 12 тыс. га лесных земель [10]. Суровые лесорастительные условия замедляют рост древесных растений.

Кульминация средних и текущих приростов в сосняках наступает 100–110-летнему возрасту, а запасов древесины на 1 га – к 180–200 годам [5]. Таким образом, неблагоприятные природ-

но-климатические условия, замедляющие рост древостоев, делают более длительным и процесс лесовосстановления после рубок, что ведет к нарушению экологического баланса и сокращению ресурсного потенциала округа. Кроме того, низкие температуры и высокий снежный покров в зимний период, обилие болот, рек и озер, в летнее время препятствующих продвижению лесозаготовительной и лесовозной техники, значительно увеличивают трудоемкость и себестоимость лесозаготовок. Это позволяет сделать вывод о том, что природно-климатические условия оказывают значительное влияние на деятельность лесопромышленных предприятий и могут рассматриваться как одна из причин кризиса лесопромышленного комплекса ХМАО.

*Низкая продуктивность лесов.* Суровый климат и заболоченность территории обуславливают низкую продуктивность лесов, оцениваемую преимущественно IVб–Vб классом бонитета. Выход деловой древесины с участков, занятых такими древостоями, очень низкий, достигающий не более 50–60 % запаса древесины, поэтому древостои, произрастающие на территории ХМАО, имеют низкий (третий) класс товарности [5]. В рыночных условиях низкая продуктивность древостоев ставит лесозаготовки на грань рентабельности и делает неконкурентоспособной продукцию лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, что, по нашему мнению, является одной из причин кризиса лесной отрасли ХМАО.

К внешним причинам кризиса, по нашему мнению, можно отнести ряд факторов, которые сформировались в условиях планово-регулируемой экономики, а в условиях рыночных отношений стали тормозом для развития лесопромышленного комплекса округа – так называемое наследие плановой экономики (рис. 2).

Основу экономики ХМАО составляет добывающая промышленность, базирующаяся на эксплуатации месторождений нефти. Моносырьевая (нефтедобывающая) направленность экономики и локальное промышленное освоение территории округа позволили за короткое время создать мощный нефтедобывающий комплекс, но одновременно привели к существенным диспропорциям в развитии производственно-хозяйственной и социальной инфраструктур. В качестве основных диспропорций экономисты [3] выделяют следующие:

1) доминирование топливно-энергетического комплекса в структуре промышленного производства, доля которого в настоящее время составляет 97 %;

2) значительное отставание развития других отраслей промышленности, отсутствие в регионе производств по глубокой переработке нефти, газа, древесного сырья;

3) крайне слабое развитие производства товаров народного потребления и агропромышленного комплекса, что привело практически к полной зависимости округа от ввоза товаров жизнеобеспечения населения из других регионов России и зарубежных стран.

Современные проблемы структурной диспропорциональности экономики ХМАО, по мнению ученых [3], уходят корнями в начальный период освоения природных богатств округа. Геологоразведочные работы, первоначально имевшие комплексный характер, очень скоро были переориентированы на поиск нефтяных и газовых месторождений. Другие виды геологоразведочных работ и освоение иных природных богатств стали второстепенной задачей. Поэтому, когда были открыты месторождения мировой значимости, такие как Самотлор, округ оказался не готовым к использованию других видов ресурсов (возобновляемых и невозобновляемых), без которых невозможно полноценное жизнеобеспечение большого количества привлекаемых в округ граждан. Начавшееся затем ускоренное развитие экономики округа обрело моносырьевую направленность, а использование трудоемких технологий, повлекшее за собой излишнюю концентрацию населения в городах и поселках, обусловило отставание развития жизнеобеспечивающей инфраструктуры. На основании вышеизложенного, полагаем, можно сделать заключение о том, что моносырьевая структура экономики, сформировавшаяся в советский период, отодвинула проблемы лесопромышленного комплекса на второй план и стала одной из причин кризиса лесной отрасли.

Структура производства лесной промышленности округа, сформировавшаяся еще в советский период, по оценкам специалистов [3], является неудовлетворительной, поскольку она ориентирована на выработку хвойных сортиментов и поставку их в круглом виде за пределы округа, в том числе на экспорт, а также на производство хвойных пиломатериалов, в основном

для нужд округа. Объем выпуска столярных изделий и мебели оценивается как незначительный. Такая структура производства, особенно выпуска конечной продукции, признана самой худшей среди лесных регионов России (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Структура производства продукции на 1000 м<sup>3</sup> заготовленной древесины [3]**

Наименование	ХМАО	Россия
Пиломатериалы, м <sup>3</sup>	251	255
Фанера, м <sup>3</sup>	–	5,3
Древесностружечные плиты, м <sup>3</sup>	–	18
Древесноволокнистые плиты, тыс. м <sup>3</sup>	–	2,2
Целлюлоза, т	–	25
Бумага и картон, т	–	27

Лиственная и низкосортная хвойная древесина, отходы лесопиления, а также тонкомерная древесина от рубок ухода за лесом не имеют сбыта, что, по мнению экономистов [3], является одной из причин низкой эффективности и неустойчивой работы лесной отрасли ХМАО. Поэтому главным условием развития ЛПК округа экономисты называют совершенствование структуры производства продукции путем развития лесопильно-деревообрабатывающих предприятий, организации производства древесностружечных и древесноволокнистых плит, а в перспективе – создания гидролизно-дрожжевых, целлюлозно-бумажных и лесохимических предприятий [3].

Истощение наиболее продуктивных и доступных в транспортном отношении лесных массивов возникло в результате нерационального лесопользования. Высокая интенсивность рубок, по мнению ученых [5, 6], основывалась на существенно завышенной расчетной лесосеке. Кроме того, как отмечает Б.Е. Чижов, мозаичное размещение крупных лесных массивов и слабое развитие лесовозных путей определили очаговый характер эксплуатации лесосечного фонда. Наиболее интенсивные рубки велись вдоль основных железнодорожных магистралей. Это сопровождалось быстрым истощением лесосырьевых баз, ликвидацией лесозаготовительных участков и исключением из эксплуатации значительной части освоенных территорий более чем на 100 лет [5].

Помимо многочисленных внешних причин кризиса, по нашему мнению, существует ряд *внутренних причин*, сформировавшихся непосредственно на предприятиях (рис. 2). К ним можно отнести следующие:

*Высокая степень износа техники и оборудования.* По оценкам специалистов, наиболее острой является проблема обновления лесозаготовительной и лесовозной техники, износ которой на сегодняшний день достиг 80 % [3].

*Внеконкурентоспособная продукция.* Устаревшая техника и технология производства не позволяет предприятиям выпускать высококачественную продукцию, соответствующую международным стандартам. Низкое качество и ограниченный ассортимент продукции деревообрабатывающей промышленности ХМАО, представленные в основном пиломатериалами, делает ее неконкурентоспособной как на внешнем, так и на внутреннем рынке, а предприятия ЛПК – нерентабельными [5].

*Недостаток квалифицированных кадров.* Кризисное состояние лесопромышленной отрасли стало причиной низкого уровня заработной платы работников предприятий данной сферы, что спровоцировало текучесть кадров, прежде всего квалифицированного управленческого персонала и специалистов [3].

*Неэффективное управление.* Сложная и нестабильная экономическая обстановка в стране, высокий уровень инфляции, неэффективное законодательное регулирование правоотношений в лесном секторе экономики, правовая и экономическая незащищенность предпринимателей обусловили, по нашему мнению, формирование особого типа руководителей предприятий, ориентированных на получение «сиюминутной» выгоды, а не на долгосрочное развитие бизнеса. Анализ деятельности предприятий ЛПК ХМАО показал, что на большинстве предприятий отсутствуют стратегические планы развития, нет резервных фондов, не ведется работа по модернизации технологического процесса, длительное время не обновляется техника и оборудование. Приоритет краткосрочных целей над долгосрочными, как известно, ставит под угрозу будущее предприятия, что в конечном итоге неизбежно приведет к кризису.

Исследование причин кризиса предприятий лесопромышленного комплекса ХМАО позволяет сделать вывод о том, что возникновение *внутренних причин* кризиса во многом обусловлено воздействием *неблагоприятного внешнего окружения* и связано с трудностями экономики переходного периода. Таким образом, именно *влияние внешней среды*, по нашему мнению, стало *основной причиной кризиса* в деятельности предприятий и в целом проблема кризиса лесопромышленного комплекса

ХМАО имеет объективный характер. В настоящее время предприятия ЛПК испытывают на себе негативное влияние большого количества разнообразных, быстро изменяющихся внешних факторов, что позволяет охарактеризовать их внешнее окружение как *сложное, изменчивое и неблагоприятное*. Возможность осуществления производственно-хозяйственной деятельности в таких условиях, по нашему мнению, напрямую зависит от *способности предприятий адаптироваться к внешней среде*, т.е. подстроить внутреннюю среду под новые условия хозяйствования. В противном случае факторы внутренней среды входят в противоречие с факторами внешнего окружения, что приводит к наступлению кризиса в деятельности предприятия. Большинство предприятий лесопромышленного комплекса ХМАО не смогли адаптироваться к новым условиям хозяйствования, и их внутренняя среда стала постепенно разрушаться под мощным воздействием внешних факторов, что стало причиной наступления глубокого, затяжного кризиса.

#### Библиографический список

1. Югория: Энциклопедия Ханты-Мансийского автономного округа. В 3-х томах. / Под ред. Г.Ф. Шафранова-Куцева. – Ханты-Мансийск, 2000. – Т. 2. – 432 с.
2. Региональная программа по развитию и реструктуризации лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа. Утверждена Постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа от 25 марта 2002 г. № 135-п. – Санкт-Петербург, 2000. – 180 с.
3. Концепция социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа. Одобрена распоряжением Правительства ХМАО от 29 сентября 2001 года № 556-рп. – Ханты-Мансийск: ГУИПП «Полиграфист», 2002. – 146 с.
4. Историческая справка освоения лесных богатств Ханты-Мансийского автономного округа (к 70-летию округа) / Комитет по использованию лесных ресурсов ХМАО (не опубликована).
5. Чижов, Б.Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского автономного округа. Экологический фонд Ханты-Мансийского автономного округа / Б.Е. Чижов. – Тюмень: Издательство Ю. Мандрики, 1998. – 144 с.
6. Вегерин, А.М. Почему завышается расчетная лесосека / А.М. Вегерин // Лесная промышленность, 1987. – № 2. – С. 18–22.
7. Егорнов, В.А. Состояние и развитие лесопромышленной деятельности в регионах со сложными природно-производственными условиями / В.А. Егорнов // Лесной экономический вестник, 2002. – № 3(33). – С. 25–29.
8. Милякина, Е.В. Экономико-правовые аспекты функционирования лесопромышленного комплекса Российской Федерации / Е.В. Милякина, З.Н. Магамедов // Законодательство и экономика, 2002 – № 11 – С. 20–36.
9. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / Под ред. В.В. Плотникова. – Тюмень: СофтДизайн, 1997. – 288 с.
10. Малик, Л.К. Гидрологические проблемы преобразования природы Западной Сибири / Л.К. Малик. – М., 1978. – 180 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

О.А. КИСЕЛЕВА, доц. Тамбовского ГТУ, канд. техн. наук,  
В.П. ЯРЦЕВ, проф. Тамбовского ГТУ, д-р техн. наук

Древесина нашла широкое применение в строительстве. При использовании в несущих и ограждающих конструкциях в процессе эксплуатации она подвергается воздействию воды, УФ-облучения, повышенных и пониженных температур. В результате наблюдается значительное ухудшение физико-механических свойств древесины. Эффективным способом сохранения эксплуатационных параметров является модификация древесины различными полимерами и химическими веществами. Наиболее изученным и хорошо зарекомендовавшим себя модификатором является сера [1, 2]. Ее использование позволяет повысить прочность и водостойкость древесины.

В работах [1, 2], посвященных исследованиям влияния модификаторов на физико-механические характеристики древесины, не рассмотрены вопросы ее поведения во времени. В связи с этим основной задачей данной работы было изучение долговечности и длительной прочности (твердости) древесины до и после модификации.

В качестве модификаторов были взяты сера (твердое), парафин (пластичное) и керосин (жидкое). Пропитывали древесину следующим образом: керосином при комнатной температуре в течение 7 суток, жидким парафином – 60 мин, серой – 30 мин при температуре 130 °С. Далее образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 3 ч и подвергали стандартным испытаниям на поперечный изгиб, скалывание, водопоглощение и разбухание. Кратковременные испытания на поперечный изгиб и скалывание проводили на универсальной разрывной машине ИР-5057. Водопоглощение по массе определяли после 1, 2 ч и 7 суток замачивания при температуре  $20 \pm 2$  °С. За результаты всех

проведенных испытаний принимали среднее арифметическое не менее пяти измерений (табл. 1, рис. 1).

По данным табл. 1 видно, что применение модификаторов способствует значительному повышению водостойкости древесины. Так, водопоглощение парафинированной древесины после выдержки в воде 2 ч уменьшается в 6 раз, а 7 суток – в 3 раза. При применении серы оно соответственно снижается в 2,5 и 2 раза, а при пропитке керосином – в 3,5 раза [3].

Модифицирование древесины сказывается и на ее прочностных свойствах. Так, прочность парафинированных образцов увеличивается на 30 %, а при пропитке керосином – на 12–15 %. Следует также отметить, что твердость модифицированной древесины повышается сильнее: при применении серы и парафина на 20 %, а керосина – на 50 % [3].

Образцы модифицированной древесины были подвергнуты термостарению и УФ-облучению. Оказалось, что при воздействии повышенной температуры (80 °С), независимо от ее продолжительности, испарение парафина из древесины не происходит. Кроме того, после термостарения в течение 14 ч твердость парафинированных образцов начинает расти, превышая первоначальную на 30 %. При дальнейшем прогреве твердость снижается и при термостарении в течение 20 ч падает до первоначальной.

УФ-облучение также оказывает влияние на прочностные свойства древесины, модифицированной керосином. В течение первых 10 ч она повышается на 20 %, затем в течение следующих 20 ч происходит ее резкое снижение. Дальнейшее облучение приводит снова к повышению прочности, и после 100 ч воздействия она составляет 120 % от первоначальной.

Т а б л и ц а 1

### Физико-механические свойства модифицированной древесины (сосна 2-ого сорта)

Вид модификатора	Предел прочности, МПа, при			Твердость, МПа	Водопоглощение, %, через		
	поперечном изгибе	скалывании	сжатии		1 час	2 часа	7 суток
–	104	6	55	20	35	40	100
Сера	–	6	–	24	–	15,5	46,5
Парафин	–	8	–	23,5	–	6,5	33,5
Керосин	116	–	63	31	10	–	29

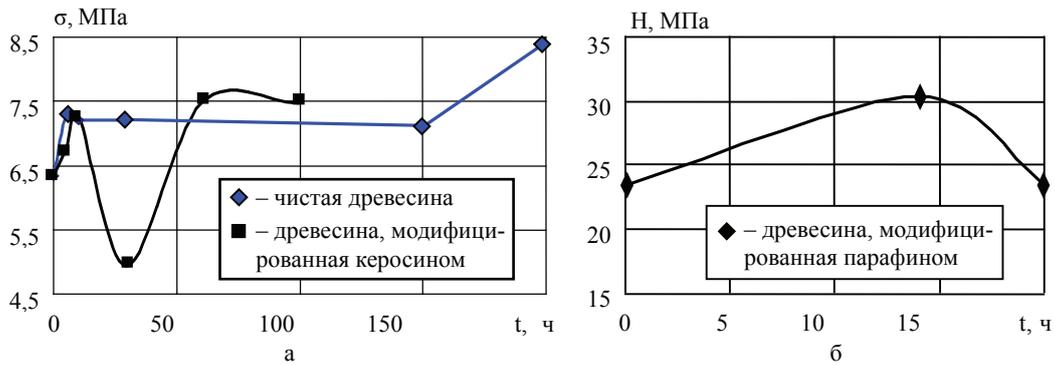


Рис. 1. Зависимость прочности при скалывании (твердости) модифицированной древесины от времени: а) облучения; б) воздействия повышенной температуры (80 °С)

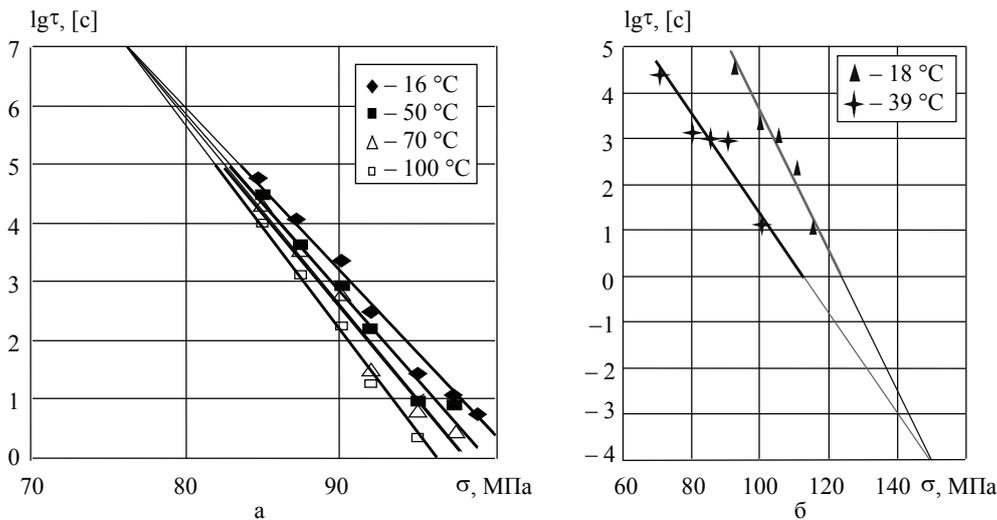


Рис. 2. Зависимости долговечности от напряжения при поперечном изгибе: а) для чистой [5]; б) модифицированной керосином древесины

В процессе эксплуатации материал находится под действием длительных нагрузок и температур. Поэтому для выявления поведения модифицированной древесины в условиях эксплуатации в режиме заданных напряжений и температур при двух видах нагружения (поперечном изгибе и пенетрации) проведены длительные испытания. В результате фиксировали время до разрушения или погружения индентора в тело до заданной глубины (1 мм). Полученные результаты в координатах  $\lg\tau-\sigma$  и  $\lg\theta-H$  представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 видно, что при модификации древесины керосином происходит изменение зависимости от обратного пучка (полученного для чистой древесины) к прямому. По-видимому, такое поведение связано с организацией более однородной структуры в модифицированной древесине. Для описания полученных эксплуатационных зависимостей используются следующие уравнения [5, 6]:

для обратного пучка

$$\tau = \tau_m^* \exp \left[ \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left( \frac{T_m^*}{T} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

для прямого пучка

$$\tau = \tau_m \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma \sigma}{RT} \left( 1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\tau_m, T_m, U_0, \gamma$  – физические константы;  
 $\tau_m^*, T_m^*, U_0^*, \gamma^*$  – эмпирические константы;  
 $\sigma$  – напряжение;  
 $T$  – температура;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная

Долговечность модифицированной древесины при комнатной температуре выше, а при повышенной температуре ниже, чем у чистой древесины. По-видимому, это связано с активностью керосина.

Величины констант, входящих в уравнения (1–2), определены графоаналитическим способом и представлены в табл. 2.

Величины констант для чистой и модифицированной древесины

Вид материала	Вид нагружения	$\tau_m (\tau_m^*), \text{с}$	$T_m (T_m^*), \text{К}$	$U_0 (U_0^*), \text{кДж/моль}$	$\gamma (\gamma^*), \text{кДж/(моль}\cdot\text{МПа)}$
Чистая древесина	Пенетрация [8]	$10^{0,4}$	364	245	9,04
	Поперечный изгиб	$10^7$	625	-131	-1,70
Древесина, модифицированная керосином	Поперечный изгиб	$10^{-4}$	408	448	3,05

Прямые  $\lg\theta$ -H при длительной пенетрации модифицированной древесины нанесены на зависимость долговечности от твердости для чистой древесины (рис. 3), что описывается уравнением [6]

$$\theta = \theta_m \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT} \left( 1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (3)$$

где  $\theta_m, T_m, U_0, \gamma$  – физические константы;  
 $\sigma$  – напряжение;  
 $T$  – температура;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная.

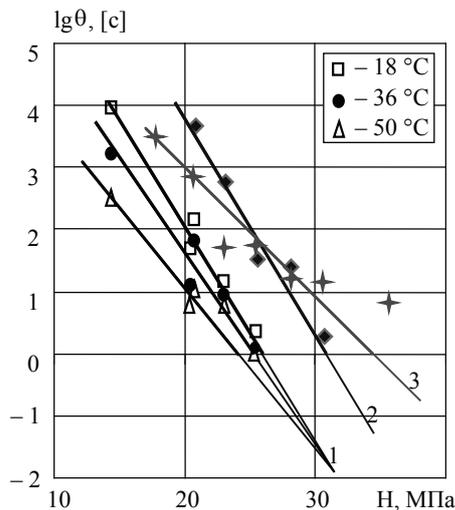


Рис. 3. Зависимости долговечности от твердости для чистой (1) и модифицированной древесины (2 – керосином, 3 – парафином)

На рис. 3 видно, что пропитка парафином и керосином соответственно в течение 60 мин и 7 суток приводит к повышению длительной твердости и деформационной долговечности древесины.

Для прогнозирования долговечности модифицированной древесины по экспериментальным данным определены поправки, позволяющие учитывать вид модификатора (табл. 3). Тогда уравнение (3) принимает следующий вид

$$\theta = \theta_m \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT} \left( 1 - \frac{T}{T_m} \right) \right] + \Delta. \quad (4)$$

Т а б л и ц а 3

Величины поправок для прогнозирования долговечности модифицированной древесины при пенетрации

Вид модификатора	Парафин	Керосин
Величина поправки, $\Delta$	$10^{0,092H-0,41}$	$10^{1,76}$

Таким образом, применение серы, керосина и парафина приводит к повышению прочности, долговечности и водостойкости древесины. В зависимости от условий эксплуатации ее можно рекомендовать для деревянных конструкций, работающих в условиях повышенной влажности, в качестве модификатора использовать любое из исследованных веществ; для несущих деревянных конструкций – керосин или парафин.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых.

### Библиографический список

- Хрулев, В.М. Прочность и водостойкость древесины, пропитанной серой / В.М. Хрулев, С.М. Горбулев, С.М. Кондрашов и др. // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 1985. – № 8. – С. 72–76.
- Орловский, Ю.И. Пропитка древесины серой / Ю.И. Орловский, В.В. Панов, С.А. Манзий и др. // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 1984. – № 6. – С. 76–80.
- Тареева, Е.Ю. Влияние вида модификатора на физико-механические свойства древесины / Е.Ю. Тареева, Е.В. Васильева, М.А. Сашин и др. // Сборник материалов VI Международной научно-техн. конф. «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». – Тула, 2005. – С. 55-56.
- Киселева, О.А. Прогнозирование работоспособности древесностружечных и древесноволокнистых композитов в строительных изделиях: дис ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.А. Киселева. – Воронеж, 2003. – 205 с.
- Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозировать работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М.: Химия, 1992. – 320 с.
- Ярцев, В.П. О долговечности и скорости деформирования при пенетрации древесины / В.П. Ярцев, О.А. Киселева, Е.Ю. Тареева и др. // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций: Материалы IV международной науч.-техн. конф. – Волгоград: ВолгГАСА, 2005. – Ч. I. – С. 129–132.

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В.В. АБРАЗУМОВ, доц. каф. материаловедения и ТКМ МГУЛ, канд. техн. наук,  
А.В. МОРОЗОВ, асп. каф. материаловедения и ТКМ МГУЛ

При обработке материалов резанием практически вся механическая работа, затрачиваемая на срезание припуска с заготовки, превращается в теплоту. В работе [1] на основе решения уравнения теплового баланса с учетом особенностей древесных композитов получены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать температуру на контактных поверхностях режущего инструмента при обработке плитных древесных композиционных материалов на минеральном вяжущем (цементно-стружечных плит).

В настоящей работе представлены результаты расчетов распределения температуры на контактных поверхностях инструмента при обработке ЦСП (коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,25 \text{ Вт/(м·К)}$ , коэффициент температуропроводности  $\omega = 1,553 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ , в зависимости от режимов резания (подачи  $- S_z$ , мм/зуб; скорости резания  $- V$ , м/с; глубины резания  $- t$ , мм). Материал режущей части инструмента – твердый сплав ВК8 ( $\lambda = 54,4 \text{ Вт/(м·К)}$ ). Расчеты проводились для случая цилиндрического фрезерования [2]. Расчетная схема цилиндрического фрезерования представлена на рис. 1.

Каждое положение зуба фрезы на дуге резания (точки 1–4) определяется углами поворота резца  $\varphi_1, \varphi_2$  и т.д., отсчитываемыми от вертикальной оси окружности резания.

Главной особенностью процесса фрезерования является изменение толщины срезаемой стружки при движении резца инструмента вдоль дуги резания. Толщина стружки зависит от подачи и угла поворота зуба фрезы и определяется по формуле:

$$a_z = S_z \times \sin \varphi, \quad (1)$$

По мере поворота зуба инструмента и увеличения толщины срезаемого слоя происходит изменение длины контакта стружки с передней поверхностью резца, возрастание касательной  $F_x$  и нормальной  $F_z$  – составляющих сил резания и резкое повышение температуры на рабочих поверхностях резца, носящее характер «температурных вспышек».

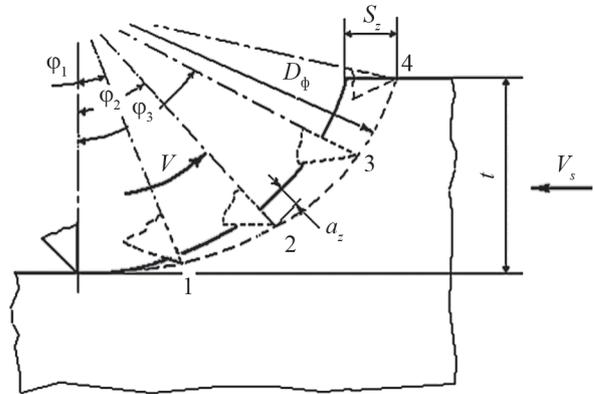


Рис. 1. Расчетная схема цилиндрического фрезерования

Расчет мгновенных значений составляющих сил резания для каждого положения зуба фрезы производился по эмпирическим зависимостям, полученным в работе [3] для цилиндрического фрезерования ЦСП.

$$F_z = 310,2 - 113,24 S_z + 12,4 L_f - 4,108 \gamma + 18,872 S_z L_f + 0,872 L_f^2 - 0,494 L_f \gamma + 0,096 \gamma^2; \quad (2)$$

$$F_x = 215,704 - 37,252 S_z + 18,276 L_f - 10,396 \gamma - 3,2 S_z^2 - 1,82 S_z L_f + 1,108 S_z \gamma - 0,3748 L_f^2 + 0,179 \gamma^2, \quad (3)$$

где  $L_f$  – длина пути резания, км;

$\gamma$  – передний угол, рад.

Эти зависимости справедливы для определенных диапазонов изменения геометрических параметров режущего инструмента и режимов резания, что учитывалось при проведении расчетов.

В расчетах варьировались значения  $S_z, V$  и  $t$ , а передний угол резца и длина пути резания принимались постоянными.

Угол контакта зуба фрезы с обрабатываемым материалом разбивался на четыре одинаковых диапазона ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ ), а длина контактных поверхностей (передней  $L_n$  и задней  $L_3$ ) на десять равных частей. Для каждого положения зуба фрезы рассчитывалось распределение температуры на задней и передней поверхностях. Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3.

Распределение температуры на передней поверхности режущего клина характеризуется наличием максимума на некотором расстоянии

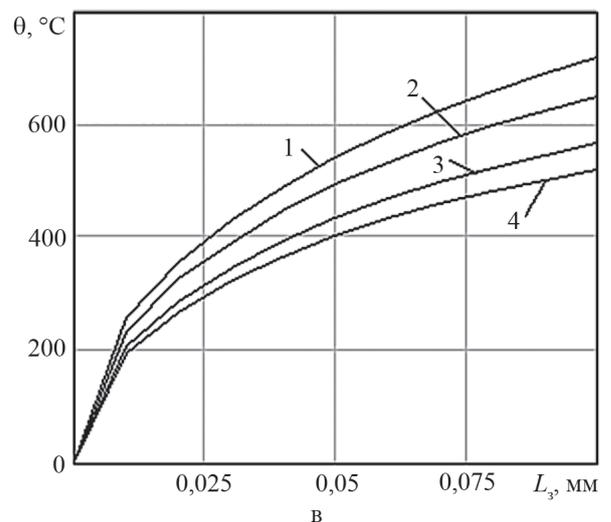
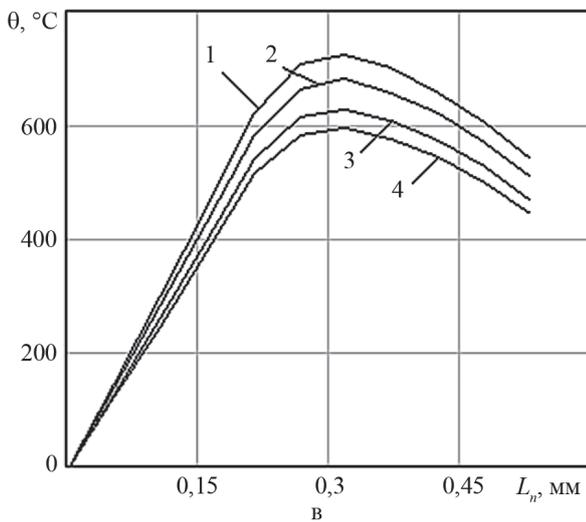
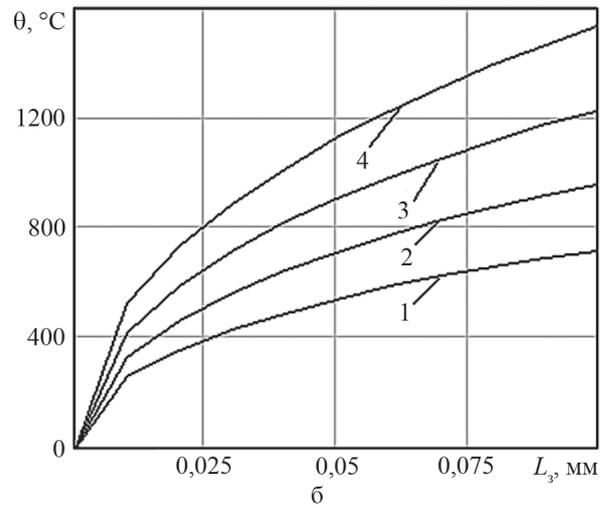
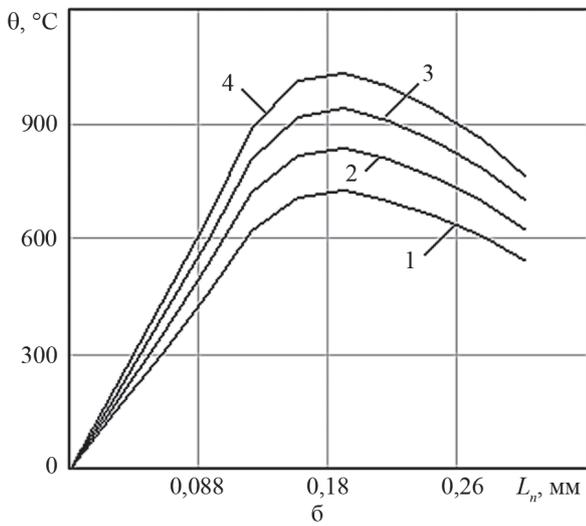
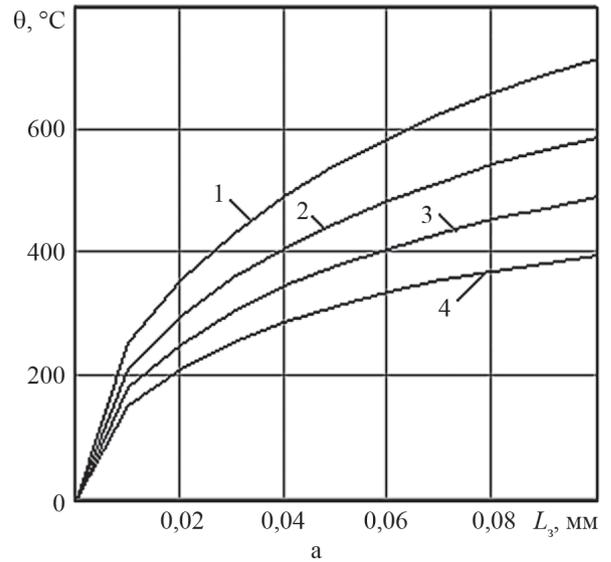
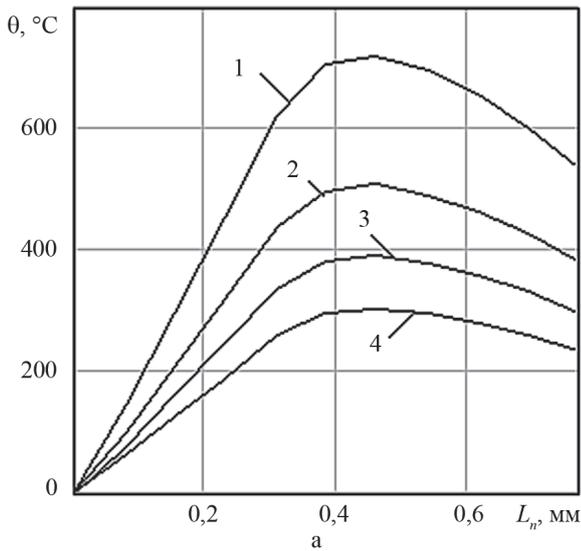


Рис. 2. Влияние режимов резания на распределение температуры на передней поверхности резца: а – подача на зуб фрезы  $S_z$ , мм: 1)  $S_{z1} = 0,8$ ; 2)  $S_{z2} = 1,4$ ; 3)  $S_{z3} = 1,9$ ; 4)  $S_{z4} = 2,4$ ; б – скорость резания  $V$ , м/с: 1)  $V_1 = 20$ ; 2)  $V_2 = 25$ ; 3)  $V_3 = 30$ ; 4)  $V_4 = 35$ ; в – глубина резания  $t$ , мм: 1)  $t_1 = 4$ ; 2)  $t_2 = 6$ ; 3)  $t_3 = 8$ ; 4)  $t_4 = 10$

Рис. 3. Влияние режимов резания на распределение температуры на задней поверхности резца: а – подача на зуб фрезы  $S_z$ , мм: 1)  $S_{z1} = 0,8$ ; 2)  $S_{z2} = 1,4$ ; 3)  $S_{z3} = 1,9$ ; 4)  $S_{z4} = 2,4$ ; б – скорость резания  $V$ , м/с: 1)  $V_1 = 20$ ; 2)  $V_2 = 25$ ; 3)  $V_3 = 30$ ; 4)  $V_4 = 35$ ; в – глубина резания  $t$ , мм: 1)  $t_1 = 4$ ; 2)  $t_2 = 6$ ; 3)  $t_3 = 8$ ; 4)  $t_4 = 10$

от режущей кромки, что обусловлено влиянием сил трения на площадке контакта стружки с поверхностью резца. С увеличением подачи и глубины резания длина площадки контакта стружки с передней поверхностью возрастает и мощность теплового потока на единице площади уменьшается, что вызывает снижение температуры. Теплота деформации стружки вследствие низкой теплопроводности ЦСП практически полностью остается в стружке и не оказывает влияния на распределение температуры на поверхности резца. При увеличении скорости резания возрастает механическая работа, затраченная на срезание слоя обрабатываемого материала, что приводит к увеличению мощности теплового источника и увеличению температуры на передней поверхности резца.

Основным источником теплоты на задней поверхности резца является трение его контактной поверхности с обрабатываемым материалом. При этом длина площадки контакта зависит как от механических свойств материала, так и от радиуса округления режущей кромки, определяющего остроту режущего инструмента. В связи с тем, что уровень сил трения на задней поверхности резца достаточно высок вследствие действия упругого восстановления материала на площадке контакта, а длина площадки почти на порядок меньше по сравнению с передней поверхностью, на ней возникает интенсивный тепловой поток. При увеличении подачи и глубины резания температура на задней поверхности уменьшается за счет перераспределения тепловых потоков между передней и задней поверхностями резца.

Уровень температур на задней поверхности несколько выше по сравнению с передней, а диапазон изменения температуры ниже, что объясняется влиянием инерционности процесса перераспределения тепловых потоков.

Увеличение скорости резания приводит к значительному росту температуры на задней поверхности, что является следствием повышения как мощности теплового источника, так и температуры на передней поверхности резца, результатом которой является снижение оттока тепла со стороны задней поверхности. Температура на задней поверхности зависит от скорости резания в большей степени, чем на передней.

### Выводы

1. Уровень температуры на контактных площадках резца существенным образом зависит от режимов резания, что необходимо учитывать при их выборе для инструментальных материалов с разными теплофизическими свойствами.

2. Главное влияние на износостойкость резца оказывают не столько абсолютные значения температуры в поверхностных слоях резца, сколько градиент температур, который определяет развитие того или иного механизма изнашивания инструментального материала.

### Библиографический список

1. Абразумов, В.В. Моделирование процесса резания древесных композитов на минеральных вяжущих / В.В. Абразумов, В.Д. Котенко // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2005. – № 6(42). – С. 58–62.
2. Резников, А.В. Теплофизика резания / А.В. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
3. Квачадзе, Т.Д. Оптимизация процесса фрезерования цементностружечных плит / Т.Д. Квачадзе. – М., 1991.

## ИНТЕНСИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

В.М. ПОПОВ, *проф. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА, д-р техн. наук*,  
А.В. ИВАНОВ, *асп. каф. электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛТА*

**В** современной деревообрабатывающей промышленности значительный удельный вес готовой продукции составляют изделия из клееной древесины. Производство фанеры, древесностружечных плит, мебели, несущих строительных конструкций трудно представить без использования клеев. Известно, что основным критерием качества клееных изделий из древесины является прочность клеевых соединений [1]. В целях повышения прочности склеек из древесины посто-

янно совершенствуется технология склеивания, разрабатываются новые модификации клеевых композиций. Однако указанные мероприятия во многих случаях практически исчерпали потенциальные возможности. Поэтому у производителей вызывают большой интерес предложения по применению в процессе склеивания интенсивных технологий.

Ранее проведенные исследования структуры и свойств терморектопластов, к которым

относится большинство клеев, показали, что под воздействием магнитного поля в процессе их отверждения наблюдается образование ориентированного и однородного структурного состояния полимеров [2]. При этом разрывная прочность обработанных в постоянном магнитном поле образцов из композиции смолы ЭД-5 и 10 % по массе полиэтиленполиамин повышалась с 2,3 кгс/мм<sup>2</sup> до 4,1 кгс/мм<sup>2</sup>. Отсюда можно ожидать при воздействии магнитным полем повышения прочности клеевых соединений древесины.

Для реализации предлагаемого технологического приема получения клеевых соединений древесных материалов повышенной прочности создан специальный стенд, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

Основным элементом стенда является электромагнитный индуктор. Магнитное ярмо смонтировано из двух подвижных башмаков, что позволяет изменять расстояние между полюсами электромагнита.

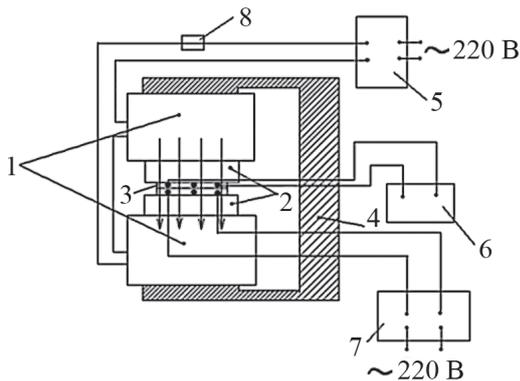


Рис. 1. Схема установки для обработки в магнитном поле образцов из ТПМ: 1 – обмотка электромагнита; 2 – башмаки электромагнита; 3 – нагревательное устройство с образцом; 4 – ярмо; 5 – блок питания; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревательного устройства; 8 – пульсатор

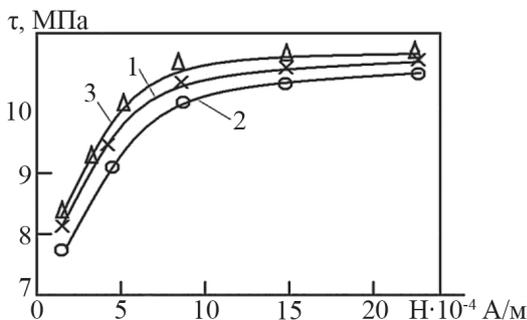


Рис. 2. Зависимость предела прочности при скалывании от напряженности постоянного магнитного поля для клеевых прослоек из клеев КФЖ (1) и ПВА (2), 3 – клей КФЖ, обработка в пульсирующем поле с частотой 1 гц

Намагничивающие катушки соединены между собой последовательно. Электромагнит подключен к специальному блоку питания, от которого на обмотку катушки подается ток силой до 12 А. Напряженность магнитного поля Н регулируется величиной тока или расстоянием между полюсами электромагнита. Стенд предварительно подвергался тарировке по зависимости напряженности магнитного поля от силы тока при изменении межполюсного расстояния. Проводились также испытания на однородность магнитного поля в межполюсном пространстве в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Стенд позволяет создавать постоянное и пульсирующее магнитное поле напряженностью до  $40 \cdot 10^4$  А/м.

В качестве исследуемых объектов применялись стандартные образцы для испытаний предела прочности на скалывание, τ. На склеиваемые поверхности образцов из высушенных дубовых заготовок наносились слои клея марок КФЖ (карбамидоформальдигидный жизнеспособный) или ПВА (поливинилацетатный). Затем склеиваемые поверхности соединялись и образец помещался в нагревательную камеру, расположенную между полюсами электромагнита в положении, когда магнитные линии располагаются по нормали к поверхности склеивания. Нагревательный элемент камеры представляет собой набор фторопластовых пластин с ячейкой под образец и навитой на них нихромовой спиралью. Температурный режим отверждения клеевой прослойки образца в процессе воздействия магнитным полем регулировался и контролировался двумя хромель-копелевыми термомпарами через потенциометр от регулируемого источника питания. Обработка в магнитном поле при температуре 60–70 °С осуществлялась в течение 20–30 мин. В процессе испытаний изменялась напряженность магнитного поля.

Обработанные в магнитном поле образцы в дальнейшем подвергаются плавному охлаждению и выдержке в течение двух суток. После этого они испытываются на предел прочности при скалывании с помощью разрывной машины согласно стандартной методике испытаний.

Наличие пульсатора позволяет проводить обработку образцов в пульсирующем магнитном поле. Как показал анализ клеевой прослойки разорванных образцов, имеет место в основном когезионное разрушение клеевого соединения.

Результаты проведенных исследований представлены в виде зависимостей предела про-

чности при скалывании от напряженности магнитного поля на графиках рис. 2. Из расположения кривых видно, что обработка клеек из древесины в постоянном магнитном поле повышает прочность клеевого соединения на 25 – 26 %. Отсюда также следует, что в пределах напряженности поля от 0 до  $15 \cdot 10^4$  А/м наблюдается интенсивный рост прочности соединений. Можно полагать, что в этом диапазоне значений напряженности магнитного поля идет интенсивная перестройка структуры полимера в сторону ее упорядочения. Из рис. 2 также видно, что применение пульсирующего магнитного поля повышает прочность клеек. Этот эффект можно также объяснить построением более упорядоченной макроструктуры в клеевом шве.

В заключение следует отметить, что предлагаемый интенсивный технологический прием создания клееных древесных материалов с повышенной прочностью представляет производственный интерес. Реализация на практике этой технологии не представляет особых трудностей как с технической, так и экономической точки зрения.

#### Библиографический список

1. Фрейдин, А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 224 с.
2. Молчанов, Ю.М. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле / Ю.М. Молчанов, Э.Р. Кисис, Ю.П. Родин // Механика полимеров. – 1973. – № 4. – С. 737–738.

## К ВОПРОСУ ОБ УГЛУБЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ЦЕХАХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н.Н. КОСТЮКЕВИЧ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ*

Решающее преимущество леса перед нефтью, газом и другими природными ресурсами состоит в том, что лес – это один из немногих возобновляемых природных ресурсов, обеспечивающих жизнь на земле. Площадь лесного фонда Российской Федерации составляет почти 12 млн км<sup>2</sup>. Более 25 % мировых запасов леса сосредоточено в России.

Для повышения экономического и социального эффекта лесоперерабатывающего производства надо налаживать глубокую переработку всей древесины, поступающей на нижние лесопромышленные склады лесозаготовительных предприятий, и обеспечить рост объема выпуска продукции высокого потребительского качества при минимальном выходе отходов.

Проблема технологической подготовки древесины, поступающей на пиломатериалы, становится одной из первоочередных задач в работе предприятия. В связи с ростом выпуска клееной продукции (брусьев, щитов и др.) значительное место в номенклатуре нижних лесопромышленных складов лесозаготовительных предприятий, помимо традиционных пиломатериалов, занимает продукция специфического назначения: бруски, клееные заготовки. Существенно изменяются требования к организации производства, объемам, спецификации и качеству пилопродукции. Это обуславливает необходимость совершенствования системы научно-технического обеспечения, воз-

можности рационального раскроя древесного сырья, в том числе и низкокачественной древесины.

Обобщенный термин «низкокачественная древесина» охватывает хвойные и лиственные круглые лесоматериалы, которые по качественным показателям или размерной характеристике не соответствуют требованиям стандартов или технических условий для деловой древесины. Основным сортообразующим пороком, из-за которого сырье переводится в разряд низкокачественного, является гниль. Таким образом, низкокачественная древесина служит сырьем для выработки колотых балансов, деталей ящичной тары, короткомерных заготовок, технологической щепы, дров для отопления, углежжения и сухой перегонки [2]. Объемный выход низкокачественной древесины зависит преимущественно от товарности и породного состава заготавливаемой древесины. По обобщенным данным лесозаготовительных предприятий, средний выход низкокачественной древесины составляет 27 %. Для повышения эффективности использования низкокачественной древесины необходимы не только ее сортировка по породам, степени поражения гнилью, но и специальная подготовка.

Значительное варьирование размерно-качественных параметров и породного состава низкокачественной древесины требует применения различных технологий для переработки. В работе [2] приведена схема раскроя низкокачественной древесины (рис. 1).

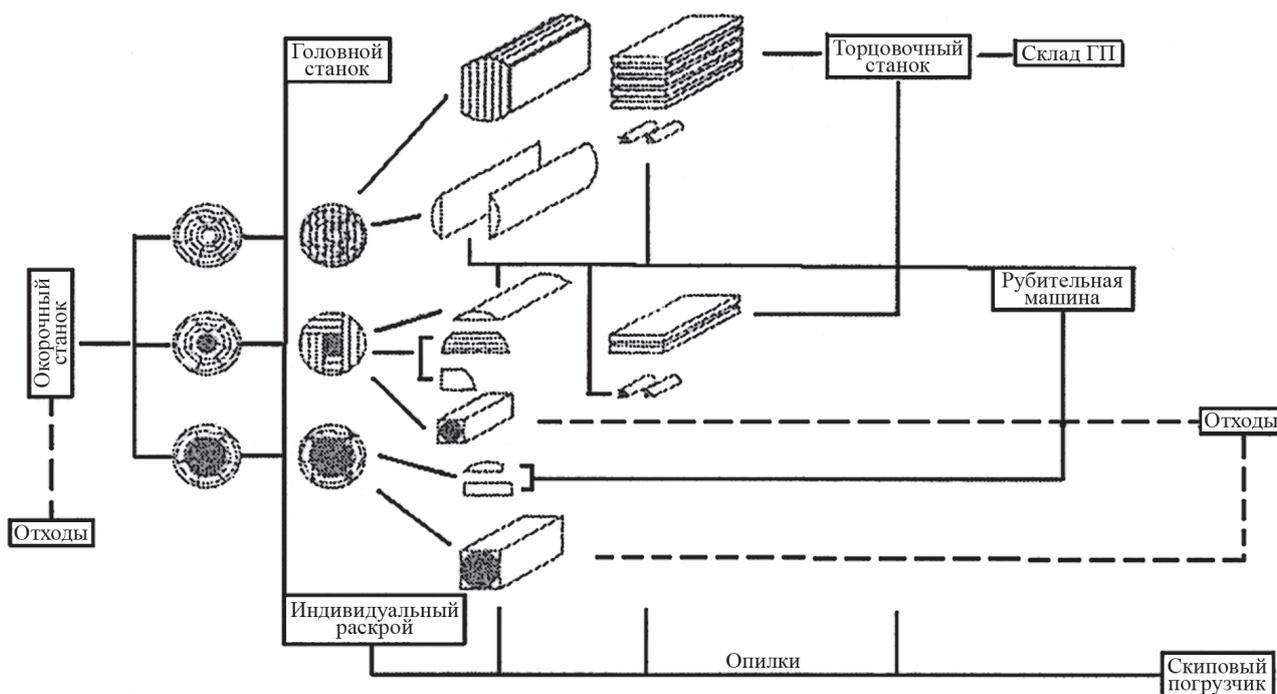


Рис. 1. Технологическая схема производства пиломатериала из низкокачественной древесины

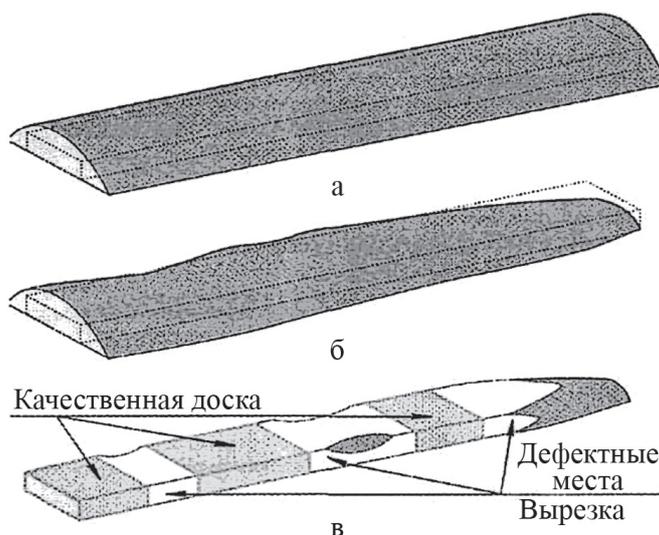


Рис. 2. Этапы формообразования обрезного пиломатериала

Как показано на схеме, при раскоре качественной и низкокачественной древесины горбыль перерабатывают в рубительных машинах, если горбыль отправить на дообработку, получим дополнительный выход товарной продукции в виде мелких пиломатериалов.

Переработка горбыля – один из вариантов повышения процентного выхода при лесопилении. Горбыль в большинстве случаев сдерживает темпы деревообрабатывающего производства из-за трудности его транспортировки и утилизации. В масштабах среднего цеха доля, приходящаяся на этот вид полуфабриката, составляет от 20 до 40 % от объема переработ-

ки. Его дробление только отчасти решает задачу эффективного использования ресурсов, так как получаемая щепка невысока в цене. И поэтому внедрение методов, основанных на максимальной выборке из горбыля полноценного обрезного пиломатериала, принесет максимальный экономический эффект. Для нормального формообразования обрезного пиломатериала необходимо, чтобы в припуск попала вся кора и пороки древесины (рис. 2а) [5]. На деле это означает сокращение площади сечения и объема выпиливаемой доски. Но если учесть, что и по длине форма горбыля чаще всего уточняется, то появление дефектных мест на готовой продук-

ции неизбежно (рис. 2б) [5]. Следующей операцией является вырезка дефектных фрагментов, которые снижают качество товарной продукции (рис. 2в) [5].

Полученные детали будут иметь различную длину. Лучшим применением такой продукции станет ее сращивание по длине. Получаемый брус или щит имеют высокий спрос и стоимость, чем и объясняется предлагаемый способ переработки.

В производстве пиломатериалов основными показателями эффективности изготовления пилопродукции и рационального использования сырья являются объемный, посортный и спецификационный выход пиломатериалов, средний коэффициент сортности пиломатериалов. При условии внедрения данной технологии в производство (рис. 2) может быть получен экономический эффект за счет уменьшения брака, снижения расхода сырья и организации работ по дообработке пиломатериалов низкого качества. Определение экономической эффективности получения пиломатериалов высшего сорта по предложенной технологии дообработки горбыля производится в сравнении с действующей технологией получения экспортных пиломатериалов.

За счет организации операций дообработки появляется возможность дополнительного получения высококачественных пиломатериалов. Чем больше длина бессортных пиломатериалов, которые можно получить при торцовке, тем выше объемный выход от этих операций и, соответственно, прибыль. Операции торцовки и сращивания позволяют увеличить выход высококачественной пилопродукции. При этом уменьшается количество низкосортных пиломатериалов, и за счет этого обеспечивается более эффективное использование древесины в лесопильном производстве.

Торцовка пиломатериалов – совокупность технологических операций лесопильного производства, заключающихся в удалении дефектных участков, опиловке одного или обоих торцов и придании пиломатериалам заданной длины. Основная задача торцовки – удаление явно пораженных гнилью, крупными сучками или трещинами горбыльных частей досок и обеспечение их стандартной длины. Доски торцуют, как правило, по

границе распространения порока или дефекта, с учетом градации по длине пиломатериалов.

Особенности насыщенности древесины пороками таковы, что сортотпределяющие пороки могут размещаться как по всей длине доски, так и на части ее длины. В первом случае задача торцовки – только сформировать требуемую длину пиломатериала, во втором – обоснованно раскроить доску на две части по длине. При этом обеспечивается повышение сортности и ценности пиломатериалов.

Сортотпределяющий порок может располагаться непосредственно у торца доски, тогда он удаляется при формировании ее длины. Если порок удален от торца на значительное расстояние, надо определить целесообразность раскроя доски на две части.

Торцовка пиломатериалов с целью получения максимально возможных длин досок бездефектной древесины также будет эффективна, т.к. в сумме цена за оставшийся пиломатериал в IV или V сорте и за полученный высококачественный пиломатериал будет выше. Уменьшение длин пиломатериалов на 30мм (на одну градацию по длине) повышает эффективность на 12–23 %. Получение пиломатериалов минимально возможной длины эффективно от 1,5 до 12 % в зависимости от длины исходных пиломатериалов.

Таким образом, в условиях лесозаготовительных предприятий целесообразно применить глубокую переработку древесины, так как выход высококачественной пилопродукции увеличится и прибыль от продажи пилопродукции вырастет.

### Библиографический список

1. Редькин, А.К. Структура современного нижнего лесопромышленного склада / А.К. Редькин, А.А. Шадрин // Лесная промышленность. – 2005. – № 2. – С. 7–9.
2. Редькин, А.К. Экспериментальная распиловка низкокачественной древесины / А.К. Редькин и др. // Лесная промышленность. – 2004. – № 3. – С. 8–10.
3. Редькин, А.К. Технология и проектирование лесных складов / А.К. Редькин и др. – М.: Экология, 1991. – 288 с.
4. Щеглов, В.Ф. Лесопиление и деревообработка накануне XXI века / В.Ф. Щеглов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 42–43.
5. Корнев, В. Станки для распиловки горбыля: скрытые размеры / В. Корнев // ДЕРЕВО.ru. – 2005. – № 5. – С. 23–26; № 6. – С. 28–34.
6. Кузнецов, В. Оптимизация обработки кромок / В. Кузнецов // ДЕРЕВО.ru. – 2006. – № 5. – С. 42–43.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГРУЗОПОТОКОВ ЛЕСОПРОДУКЦИИ ПРИ РУБКАХ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

З.Н. НАХАЕВ, *Институт лесоведения РАН, канд. техн. наук,*  
А.С. СУШКОВ, *студент ВГЛТА*

Рубки ухода проводят во всех категориях лесов с момента образования насаждений. Основной задачей рубок ухода за лесом является улучшение породного состава насаждений, повышение их устойчивости и качества, сокращение сроков выращивания спелой древесины, усиление защитных, водоохраных и других полезных функций леса.

Характерной особенностью рубок ухода за лесом является проведение их в зависимости от возраста насаждений. Вырубке подлежит не вся покрытая лесом площадь, а только отдельные деревья или участки, в зависимости от вида рубки.

Основным показателем при планировании рубок является площадь, при этом указывают также примерное количество вырубаемой древесины, в том числе ликвидной, причем посортиментное планирование не допускается.

В процессе планирования рубок обращают внимание на их концентрацию в возможно меньшем количестве кварталов с примерно равной площадью, структурой насаждения и объемом всех видов рубок ухода.

Однако этого достичь на практике чрезвычайно трудно. Как правило, рубки раскинуты в разных, порой противоположных кварталах лесного массива, с небольшими объемами заготавливаемой древесины, из которой ликвидной массы получается в несколько раз меньше общей.

Все разнообразие технологий проведения рубок ухода можно свести к четырем вариантам:

1) рубки ухода в молодняках с оставлением древесины на месте;

2) рубки ухода в молодняках с использованием древесины для заготовки древесной зелени и производства технологической щепы;

3) прореживание и проходные рубки с вывозкой хлыстов и оставлением порубочных остатков на месте;

4) прореживание и проходные рубки с вывозкой хлыстов и отделением древесной зелени от порубочных остатков на верхнем или нижнем складе.

Следовательно, технология рубок ухода должна отвечать следующим требованиям:

- не влиять на снижение продуктивности насаждений и их устойчивости;
- повышать производительность труда;
- снижать стоимость заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины;
- не вызывать эрозию почв.

На первое требование начали обращать внимание только в последние годы, когда наука и практика показали, что при использовании механизации можно получить результаты, прямо противоположные целям рубок ухода.

Исходя из этих особенностей процесса рубок ухода и происходит формирование грузопотоков.

Чтобы выявить взаимосвязь между грузопотоками из отдельных массивов рубок ухода и обосновать наиболее эффективные пути, нужно уяснить, что сама система ухода устанавливает следующие ограничения:

- уменьшение максимально нагрузки на рейс и допустимых размеров заготавливаемой древесины;
- хаотичное размещение по площади лесосек с разнообразным породно-качественным составом;
- планирование рубок в течение года носит неопределенный характер.

Неопределенность здесь обусловлена случайным воздействием погодных изменений, и поэтому фактическое время выполнения отдельных этапов рубок будет отклоняться в большую или меньшую сторону от запланированного среднего времени. Не менее важное значение имеет и учет экологических последствий.

Ежедневный объем работ на всех фазах рубок ухода меняется в значительных пределах. Характер этого изменения хаотичный, поэтому одной из особенностей потоков древесины является стохастический характер.

Большое значение в формировании грузопотоков имеет выбор числа и место верхних складов. Одной из причин неудовлетворительного функционирования транспортно-грузовых потоков является недостаточная изученность проблем их развития. Отсутствие теоретических исследо-

ваний не позволяет разработать научные рекомендации, внедрение которых позволило бы повысить эффективность транспортного обслуживания.

В условиях комплексных лесных предприятий многогранность производственной деятельности является причиной широкой номенклатуры грузов при незначительных объемах. Нельзя не учитывать такую специфическую особенность транспорта леса, как низкий уровень его концентрации. При формировании потоков необходимо исходить из задач, стоящих перед рубками ухода, т.е. критерием оценки следует считать отсутствие потерь лесовосстановления по вине транспорта. При формировании грузопотоков необходимо обосновать взаимосвязь между объемами рубок ухода и наиболее эффективным размещением грузопотоков в пунктах потребления.

Необходимо решить еще мало изученную проблему комбинирования и кооперирования производств в пределах экономического региона, их транспортные связи. Эту проблему надо решать в тесном контакте с другой не менее важной – путями использования данного древесного сырья, то есть рассматривать проблему в региональном масштабе. Для этого необходимо провести тщательную, всеохватывающую оценку лесных ресурсов и инфраструктуры и на этой основе составить общий проект оптимального использования лесов, выбора ассортимента продукции, инвестиций в существующие предприятия и защиту окружающей среды. Кроме этого необходимо учитывать социальные и экономические предпосылки. Повышение процента вывозки и использования биомассы дерева изменяет методы проведения работ по лесовосстановлению, защите лесных культур, уходу за ними. Надо учитывать занятость населения в данном регионе, реальные диспропорции и экономическую эффективность лесопользования.

На наш взгляд, решение такой сложной системы, какой являются грузопотоки от рубок ухода за лесом, учитывающие интересы не только конкретного производителя продукции, но и предприятий региона в целом, можно осуществить, используя методы математического программирования, основанные на использовании специфики структуры связей в больших системах [1].

Что же такое «большая система»? Это такая система, где:

а) функциональные связи описываются набором большого числа уравнений и неравенств с относительно большим числом переменных;

б) в структуре функциональных связей имеется специфика, указывающая на возможность более или менее полного расчленения системы уравнений (и неравенств) на подсистемы меньшей размерности.

Такие задачи не поддаются решению стандартными методами математического программирования, не учитывающими специфику структуры.

Решение задачи формирования грузопотоков древесины стимулирует разработку новых структур управления с частичной или полной децентрализацией процесса принятия решений.

Можно выделить следующий метод решения указанной задачи, основанный на разложении исходной системы на подсистемы, для каждой из которых необходимо решать подзадачу меньшей размерности (по сравнению с исходной задачей). Так как системы взаимосвязаны, то общее решение, как правило, нельзя получить в результате изолированного решения таких подзадач.

Для транспортно-грузовых потоков можно выделить подсистемы первого и второго уровня таким образом, чтобы подсистемы второго уровня (это слияние грузопотоков от нескольких блоков лесосек) определяли соответствующие изменения в подсистемах первого уровня. Учет связей, четкое выявление которых обязательно при любом способе разбиения системы, может определяться характером исходной задачи и методом выделения системы первого, второго и др. уровней.

Основная задача второго уровня состоит в координации функционирования элементов первого уровня с целью получения общего решения исходной задачи. Можно теперь идти дальше и выделить подсистемы третьего уровня, координирующего функционирование подсистем второго уровня. В результате мы приходим к системе принятия решения, имеющей пирамидальную структуру. Координирующий «орган» влияет на решение подзадач путем изменения значений коэффициентов целевой функции, введением дополнительных ограничений и т.д.

Изучая реальные функциональные транспортные потоки, необходимо выделить основные технологические способы. Каждый из этих способов можно рассматривать как «черный ящик» с входящими и выходящими потоками затрат (различные виды лесоматериалов и других ресурсов и выпуска конечной продукции). Различные виды

затрат и выпуска будем называть ингредиентами, а качественные показатели, характеризующие изменение этих ингредиентов – интенсивностью использования технологических способов. Чтобы разработать план вывозки и перевозок в пределах региона из пунктов складирования в пункты потребления, учитывая полное удовлетворение спроса при минимальных суммарных транспортных затратах, рассмотрим перевозку единицы груза со склада «X» в пункт «Y». Показатели интенсивности использования этого способа есть количество продукта, перевезенного со склада в пункт «Y». Ингредиентами способа, с соответствующими затратами, является отправляемая продукция и финансы, а ингредиентами выпуска – доставленная в пункт «Y» продукция. Нетрудно понять, что в рассматриваемой задаче имеется множество технологических способов перевозок. Все они взаимосвязаны из-за наличия ограничений на объем потребления, характер сырья и емкость складов.

Но транспортно-грузовые процессы не будут эффективно функционировать без решения задач управления запасами сырья на лесосеке и в пунктах потребления. Это достигается путем решения блочных задач со складывающимися переменными и ограничениями.

При планировании грузопотоков возникают следующие задачи:

1. Наилучшим образом распределить различные виды лесоматериалов между потребите-

лями, а внутри предприятия – между технологическими установками.

2. Рационализировать материальные потоки между различными установками. (Решение задачи усложняется вследствие наличия промежуточных сортиментов, которые могут быть направлены на другие потоки без дальнейшей переработки).

3. Определить оптимальные варианты, режимы использования технологических установок с учетом различных факторов и условий.

4. Обосновать наилучшие варианты закрепления потребителей.

Все эти вопросы взаимосвязаны. Так, решение последнего зависит не только от транспорта, но и от производственных мощностей по различным предприятиям или подразделениям одного предприятия.

Решение усложняется еще и тем, что предприятия различаются возрастом и структурой оборудования основного и вспомогательного производства. И здесь уже назревает следующая проблема – размещение предприятий и складов таким образом, чтобы спрос потребителей был удовлетворен полностью, а суммарные затраты на производство, хранение и перевозку продукции были минимальными.

#### Библиографический список

1. Лесдон, Л. Оптимизация больших систем / Л. Лесдон. – М.: Наука, 1975. – 432 с.

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСВОЕНИЯ КВАРТАЛА

К.П. РУКОМОЙНИКОВ, доц. каф. технологии лесопромышленного производства МарГТУ, канд. техн. наук

Разработанный на кафедре «Технология и оборудование лесопромышленных производств» Марийского государственного технического университета способ освоения участков лесного фонда предполагает разбиение квартала на участки леса, образованные путем объединения выделов для проведения рубок промежуточного и главного пользования [1]. В целях наиболее эффективной реализации данного способа необходим расчет основных технологических параметров освоения объединенных выделов на территории квартала, таких как среднее расстояние трелевки лесоматериалов, число и месторасположение погрузочных пунктов и т.д.

Для определения среднего расстояния трелевки при данном способе комплексного освоения

участков лесного фонда рассмотрим лесосеку, состоящую из нескольких выделов непрямоугольной формы, представленную на рис. 1. На каждом из выделов, входящих в состав лесосеки, планируется проведение различных видов рубок. Лесосека разбивается на 2 делянки, каждая из которых включает части как первого, так и второго выдела. Отметим, что запасы вырубаемой древесины на каждом из выделов, входящих в состав объединенного выдела, различны, все выделы имеют неправильную форму, а часть одного не примыкает к магистральному волоку. Всякую площадь неправильной формы можно упростить и представить в виде совокупности нескольких геометрических фигур: прямоугольника, трапеции, треугольника.

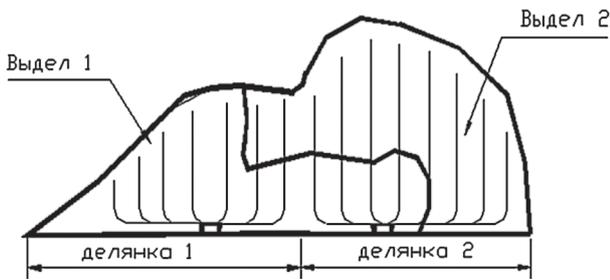


Рис. 1. Лесосека, образованная путем объединения выделов для проведения рубок промежуточного и главного пользования

Среднее расстояние трелевки определяется как частное от деления общей грузовой работы волоков на их грузооборот, равный общему запасу древесины на лесосеке (делянке).

Расстояние трелевки на участке непрямоугольной формы складывается из расстояний трелевки по пасечным и магистральным волокам. Для обоснования этих величин рассмотрим участок лесосеки, имеющий форму трапеции UPTG и примыкающий к магистральному волоку (рис. 2). Определим грузовую работу по трелевке древесины с участка UPTG к магистральному волоку. Выделим в трапеции элементарную площадку длиной  $dx_1$ . Площадь этой площадки будет равна

$$dS_1 = (a + y_1)dx_1; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}\alpha = y_1 / x_1 = (d - a) / b; \quad (2)$$

откуда

$$y_1 = (d - a) x_1 / b. \quad (3)$$

Подставив полученное выражение в формулу (1), получим

$$dS_1 = (a + ((d - a) x_1 / b)) dx_1. \quad (4)$$

Расстояние трелевки древесины с площадки  $dS_1$  по пасечным волокам к магистральному волоку будет равно

$$\ell_3^{nac} = \frac{(a + y_1)}{2} = \frac{\left(a + \frac{(d - a) \cdot x_1}{b}\right)}{2}. \quad (5)$$

Элементарная грузовая работа пасечных волоков при трелевке древесины с площадки UPTG составит

$$R_1^{nac} = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^{nac} \cdot dS_1 = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left( \frac{\left(a + \frac{(d - a) \cdot x_1}{b}\right)^2}{2} \right) \cdot dx_1, \quad (6)$$

где  $q_i$  – средний вырубаемый запас на участке,  $m^3$ .

Преобразовав данное выражение, получим

$$R_1^{nac} = \frac{q_i \cdot b}{6 \cdot 10^4} \cdot ((a + d)^2 - a \cdot d). \quad (7)$$

Таким образом, среднее расстояние трелевки древесины по пасечным волокам будет равно

$$\ell_{cp}^{nac} = \frac{\sum_{y=1}^n R_{1y}^{nac}}{Q_n}, \quad (8)$$

где  $y = 1 \dots n$  – количество участков различной конфигурации, тяготеющих к одному погрузочному пункту;

$Q_n$  – общий вырубаемый запас на делянке,  $m^3$ .

Расстояние трелевки древесины с площадки  $dS_1$  по магистральному волоку к погрузочному пункту будет равно

$$l_3^M = x_1 + m. \quad (9)$$

Тогда грузовая работа магистрального волока при трелевке древесины с площадки UPTG составит

$$R_1^M = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^M dS_1 = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left( (x_1 + m) \cdot \left( a + \frac{(d - a) \cdot x_1}{b} \right) \right) \cdot dx_1. \quad (10)$$

Произведя преобразования и подставив пределы интегрирования, получим

$$R_1^M = \frac{q_i \cdot b}{6 \cdot 10^4} \cdot (a \cdot b + 3 \cdot m \cdot a + d \cdot (2 \cdot b + 3 \cdot m)). \quad (11)$$

Следовательно, среднее расстояние трелевки по магистральному волоку будет равно

$$\ell_{cp}^M = \frac{\sum_{y=1}^n R_{1y}^M}{Q_n}. \quad (12)$$

Рассмотрим участок, имеющий форму трапеции и находящийся на расстоянии от магистрального волока (рис. 2). Подобная форма и размещение представляют наиболее общий случай расположения выделов в составе объединенного выдела. Участки другой геометрической формы или же примыкающие к магистральному волоку являются частными случаями решения данной задачи.

Для определения среднего расстояния трелевки выделим в трапеции элементарную площадку. Площадь вертикальной элементарной площадки:

$$dS = (c - y_1 - y_2)dx. \quad (13)$$

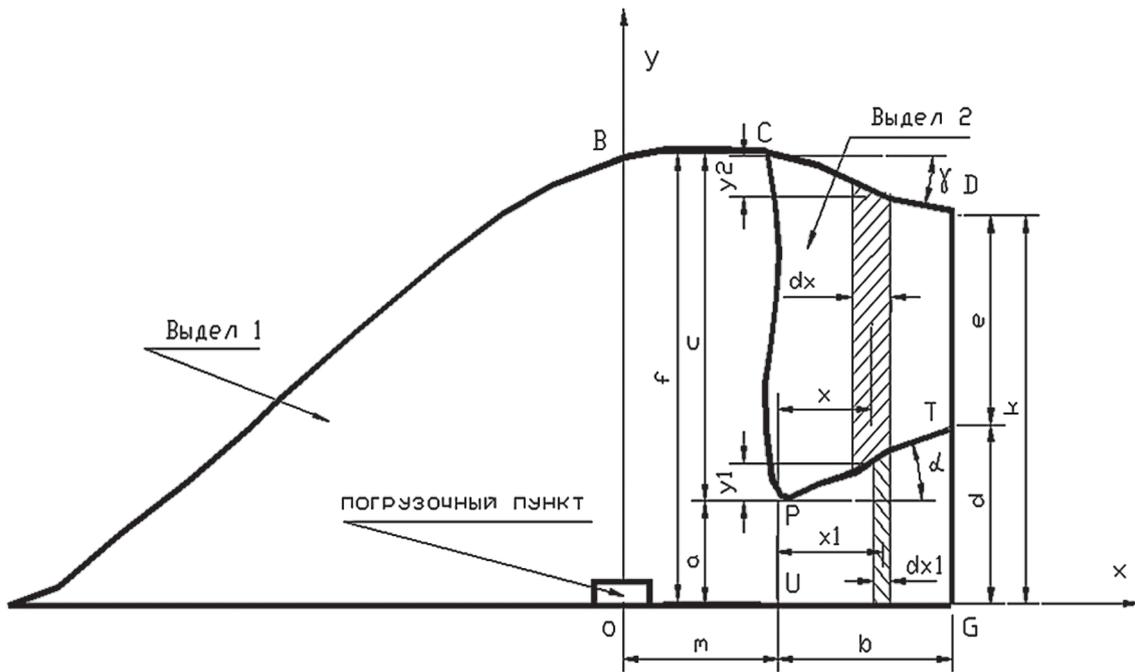


Рис. 2. Расчетная схема к определению среднего расстояния трелевки на делянке, состоящей из нескольких выделов с различной конфигурацией и условиями работы

Из рисунка видим, что

$$\operatorname{tg} \alpha = y_1 / x = (d - a) / b, \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = y_2 / x = (f - k) / b, \quad (15)$$

откуда

$$y_1 = (d - a)x / b, \quad (16)$$

$$y_2 = (f - k)x / b. \quad (17)$$

С учетом представленных уравнений получим

$$ds = \left( c - \frac{(d - a) \cdot x}{b} - \frac{(f - k) \cdot x}{b} \right) \cdot dx. \quad (18)$$

Расстояние трелевки с элементарной площадки можно выразить по формуле

$$\ell_3 = \frac{(c - y_1 - y_2)}{2} + x + a + y_1 + m. \quad (19)$$

Элементарная грузовая работа, затрачиваемая на трелевку заготовленной древесины с площади рассматриваемого участка к лесопогрузочному пункту, находящемуся в центре координат, составит:

$$R = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3 \cdot dS. \quad (20)$$

После интегрирования и подстановки пределов изменения, получим

$$R = (q_i b (a(2 \cdot c + e) - c \cdot e + (b + d)(c + 2 \cdot e) + (c + e)(c + e + 3 \cdot m))) / 6 \cdot 10^4. \quad (21)$$

При  $a = d$ ,  $c = e$  трапеция приобретает форму прямоугольника, а при  $c = 0$  или  $e = 0$  – треугольника.

Если конфигурация делянки имеет сложную форму или состоит из нескольких выделов

различной формы и размеров, на территории которых проводятся различные виды рубок, то среднее расстояние трелевки определяется по формуле

$$\ell_{cp} = \frac{\sum_{y=1}^n R_y}{Q_n}, \quad (22)$$

где  $R_y$  – грузовая работа по трелевке древесины с определенного участка лесосеки.

Для расчета среднего расстояния трелевки лесоматериалов с делянки I (рис. 1, 2) с размерами  $PU = 40$  м,  $UG = 90$  м,  $PC = 140$  м,  $TG = 80$  м,  $DT = 80$  м,  $OU = 70$  м,  $BO = 180$  м,  $AO = 250$  м разделим делянку на несколько частей различной конфигурации: CDTP, PTGU, BCUO, ABO. Предположим, что на территории выдела I планируется осуществление сплошных рубок, а на территории выдела 2 – рубок ухода. Вырубаемый запас составит соответственно 120 и 55 м<sup>3</sup>/га.

Проведем расчеты по предложенным выше формулам. Результаты расчетов сведем в табл. 1.

С увеличением расстояния между погрузочными пунктами увеличивается среднее расстояние трелевки и, следовательно, возрастают затраты на трелевку. Вместе с тем уменьшаются расходы на обустройство погрузочных пунктов. Таким образом, изменение в ту или иную сторону величины расстояния между погрузочными пунктами ведет к росту одних затрат и уменьшению других и наоборот.

Пример расчета среднего расстояния трелевки

Участки	Показатели									
	<i>a</i> (м)	<i>b</i> (м)	<i>c</i> (м)	<i>d</i> (м)	<i>e</i> (м)	<i>m</i> (м)	<i>R</i> (м <sup>3</sup> ·м)	<i>S</i> (м <sup>2</sup> )	<i>Q</i> (м <sup>3</sup> )	<i>ℓ<sub>ср</sub></i> (м)
CDTP	40	90	140	80	80	70	12175	9900	54	
PTGU	0	90	40	0	80	70	9792	5400	65	
BCUO	0	70	180	0	180	0	18900	12600	151	
ABO	0	250	180	0	0	0	38700	22500	270	
							79567		540	148

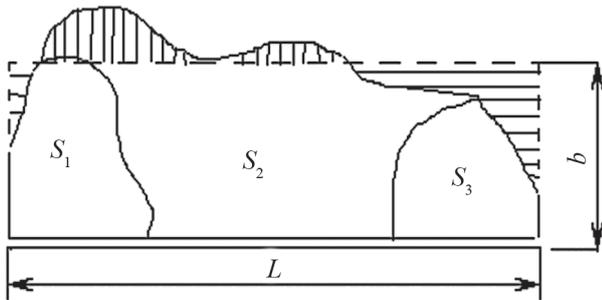


Рис. 3. Расчетная схема к определению оптимального числа погрузочных пунктов

Расчет оптимальных размеров делянок с учетом непрямоугольной формы лесосек при поквартальном способе освоения УЛФ и объединении в один выдел различных выделов для проведения рубок промежуточного и главного пользования можно осуществить в два этапа:

- 1) определение оптимального числа погрузочных пунктов;
- 2) определение оптимального размера делянок и размещение на них погрузочных пунктов.

Суммарные удельные затраты *C*, приходящиеся на 1 м<sup>3</sup> стрелеванной древесины, в условиях существующей квартальной сети и использовании в качестве магистрального волока уже имеющихся поквартальных просек и лесовозных дорог складываются из удельных затрат на трелевку лесоматериалов (*C*<sub>1</sub>, р./м<sup>3</sup>), строительство и содержание погрузочных пунктов (*C*<sub>2</sub>, р./м<sup>3</sup>).

Для определения оптимального числа погрузочных пунктов необходимо преобразовать рассматриваемую лесосеку (рис. 3) в фигуру прямоугольной формы длиной *L* и шириной *b*, найдя среднюю ширину лесосеки как отношение площади лесосеки *S<sub>г</sub>* к ее длине.

Таким образом,

$$b = S_B / L; \tag{23}$$

$$C_1 = \frac{C_m}{\Pi_{см}} = \frac{C_T \cdot \left( 2 \cdot \frac{\ell_{ср}}{v_{ср}} + \sum t \right)}{3600 \cdot M \cdot m \cdot \phi}, \tag{24}$$

где *C<sub>m</sub>* – стоимость машино-смены на трелевке, р.;

- ℓ<sub>ср</sub>* – среднее расстояние трелевки, м;
- v<sub>ср</sub>* – средняя скорость трелевочной машины при движении в холостом и грузовом направлениях, м/с;
- ∑t* – суммарное время на формирование пачки, ее погрузку и разгрузку, перемещения по лесосеке и погрузочному пункту в расчете на одну пачку, с;
- M* – средний объем трелеваемой пачки древесины, м<sup>3</sup>;
- m* – число часов работы в смену, ч;
- φ* – коэффициент использования времени смены.

Объединенный выдел (лесосека) может состоять из нескольких выделов, расположенных по разные стороны от магистрального волока. Эти части могут быть различных размеров, и среднее расстояние трелевки на них также отличается. С учетом этого среднее расстояние трелевки равно

$$\ell_{ср} = (\ell_1 S_1 + \ell_2 S_2 + \dots + \ell_n S_n) / S_B, \tag{25}$$

где *ℓ<sub>1</sub>*, *ℓ<sub>2</sub>*, ..., *ℓ<sub>n</sub>* – среднее расстояние трелевки на каждом из выделов, входящих в состав объединенного выдела, м

$$\ell_{ср} = [k_0(b_1 k_1 + 0,5A k_2) S_1 + k_0(b_2 k_1 + 0,5A k_2) S_2 + \dots + k_0(b_n k_1 + 0,5A k_2) S_n] / S_B, \tag{26}$$

- где *κ<sub>0</sub>* – коэффициент развития трассы;
- κ<sub>1</sub>*, *κ<sub>2</sub>* – коэффициенты, зависящие от схемы размещения волоков на лесосеке;
- b<sub>1</sub>*, *b<sub>2</sub>*, ..., *b<sub>n</sub>* – средняя ширина выделов, входящих в состав объединенного выдела, м.

Удельная стоимость сооружения погрузочного пункта в расчете на 1 м<sup>3</sup> будет равна

$$C_2 = (10^4 \cdot C_n) / (q_i \cdot b \cdot A), \tag{27}$$

- где *A* – длина делянки, м;
- C<sub>n</sub>* – затраты на обустройство одного погрузочного пункта, р.

Средний вырубемый запас древесины на делянке прямоугольной формы можно определить по формуле

$$Q_n = (A \cdot b \cdot q_i) / 10^4. \tag{28}$$

Определение оптимального объема вырубемой древесины на делянке непрямоугольной

формы сводится к нахождению минимума функции

$$C = C_1 + C_2 = C_7 [((2 \cdot k_0 \cdot k_1) / S_B \cdot (b_1 S_1 + b_2 S_2 + \dots + b_n S_n) + 2 \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot ((10^4 \cdot Q_{II}) / (b \cdot q_i)) / v_{cp} + \Sigma t] + C_n / Q_n \quad (29)$$

$$dC / dQ_n = ((10^4 \cdot C_m \cdot k_0 \cdot k_2) / (1800 \cdot q_i \cdot b \cdot v_{cp} \cdot M \cdot m \cdot \phi)) - C_n / Q_n^2 \quad (30)$$

Из уравнения находим

$$Q_n = \sqrt{\frac{18 \cdot C_n \cdot q_i \cdot b \cdot v_{cp} \cdot M \cdot m \cdot \phi}{10^2 \cdot C_m \cdot k_0 \cdot k_2}} \quad (31)$$

Оптимальное число погрузочных пунктов определится из соотношения

$$N = Q / Q_n \quad (32)$$

где  $Q$  – общий вырубаемый запас древесины на лесосеке,  $m^3$ .

Преобразовав данное выражение с учетом предыдущих формул, получим:

$$N = \sqrt{\frac{C_m \cdot k_0 \cdot k_2 \cdot Q \cdot L}{1800 \cdot C_n \cdot M \cdot m \cdot \phi \cdot v_{cp}}} \quad (33)$$

В табл. 2 представлены характеристики выделов в составе объединенного выдела, показанного на рис. 4.

Т а б л и ц а 2

**Таксационные характеристики выделов в составе объединенного выдела**

Показатели	№ выдела		
	1	2	3
Площадь, га	0,4	3,5	0,8
Вырубаемый запас леса, $m^3/га$	108	87	78

Для этих выделов, имеющих разный объем хлыста ( $V_{хл}$ ), запас на га ( $q$ ), интенсивность рубки и другие характеристики (табл. 2), при  $C_m = 3000$  р.;  $k_0 = 1,1$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $L = 400$  м;  $C_n = 500$  р.;  $M = 8$   $m^3$ ;  $v_{cp} = 1$  м/с,  $\phi = 0,8$  получим

$$q_i = (78 \cdot 0,8 + 87 \cdot 3,5 + 108 \cdot 0,4) / 4,7 = 87,3 \text{ (} m^3 \text{)}$$

$$N = \sqrt{\frac{3000 \cdot 1,1 \cdot 0,5 \cdot 400 \cdot 410}{1800 \cdot 500 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 0,8 \cdot 1}} = 2,6 \approx 3 \text{ (шт.)}$$

Для определения границ делянок и размещения на них погрузочных пунктов построим эпюру изменения общего вырубаемого запаса в зависимости от изменения размеров делянки.

Площадь территории делянок совмещаем с координатной системой  $X, Y$  (рис. 4). По оси  $X$  откладываем длину выдела, а по оси  $Y$  – его ширину. Далее в той же системе координат проводим построение эпюры ( $I$ ), откладывая нарастающим итогом по оси, совпадающей по направлению с осью  $Y$ , величину общего вырубаемого запаса в зависи-

мости от изменения площади делянки. При этом появляется возможность максимально учитывать различия запаса леса на каждой из лесосек, входящих в состав объединенного выдела, и их форму.

Для определения оптимальных размеров делянки разобьем отрезок  $FG$  на  $N$  равных частей. Из полученных точек проводим прямые, параллельные оси  $X$ , до пересечения с эпюрой и опускаем перпендикуляры на ось  $X$ . Расстояние между двумя соседними точками будет соответствовать оптимальной длине делянки. Перпендикуляры, восстановленные из этих точек до пересечения с границей общей площади выдела, являются границами делянок. При размещении погрузочных пунктов в пределах разрабатываемого участка необходимо определить такое их местоположение, при котором суммарная грузовая работа по трелевке древесины к погрузочному пункту будет минимальна. Эту работу можно представить в виде

$$R_0 = R_n + R_n = q_1 \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2 + \dots + q_n \cdot l_n \quad (34)$$

где  $R_n, R_n$  – соответственно грузовая работа по трелевке древесины с левой и правой частей делянки;

$q_1, q_2, \dots, q_n$  – запасы вырубаемой древесины на различных участках лесосеки,  $m^3$ ;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  – средние расстояния трелевки древесины к погрузочному пункту с различных частей делянки, м.

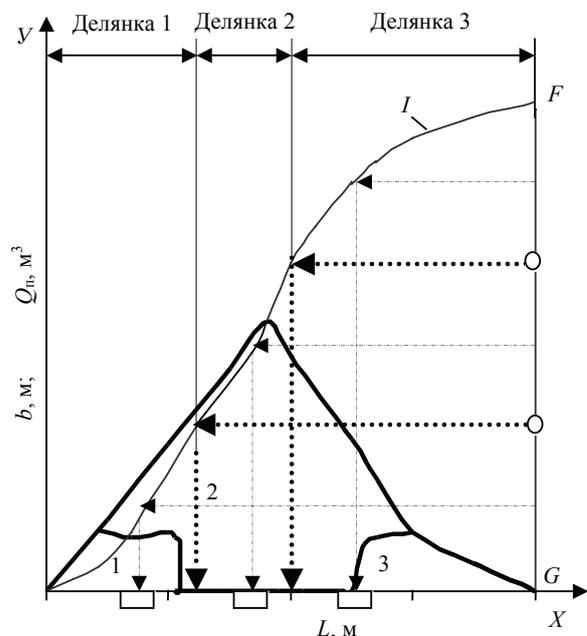


Рис. 4. Расчетная схема к определению оптимального размещения погрузочных пунктов на объединенном выделе непрямоугольной формы:  $I$  – эпюра изменения запаса, вырубаемого на делянке, в зависимости от изменения ее длины (площади); 1, 2, 3 – номера выделов, входящих в состав объединенного выдела (лесосеки)

Величины  $R_l, R_n$  можно представить в виде

$$R_n = q_n \cdot l_n; \quad (35)$$

$$R_l = q_l \cdot l_l, \quad (36)$$

где  $q_l, q_n$  – сумма запасов древесины в правой и левой частях делянки,  $m^3$ ;

$l_l, l_n$  – соответственно среднее расстояние трелевки древесины к погрузочному пункту с левой и правой частей делянки, м.

Предположим, что

$$R_l = R_n = Q_n / 2. \quad (37)$$

Докажем, что при этих условиях величина  $R_o$  будет минимальна.

Согласно приведенным выше формулам можно сделать вывод, что

$$R_o = (Q_n / 2) \cdot (l_l + l_n). \quad (38)$$

Передвинем погрузочный пункт влево на расстояние  $\Delta x$  из положения  $D$  в положение  $F$  (рис.5). При этом запасы древесины в обеих частях делянки перестанут быть равными.

$$q_l^I = (Q_n / 2) - q\Delta; \quad (39)$$

$$q_n^I = (Q_n / 2) + q\Delta, \quad (40)$$

где  $q\Delta$  – вырубаемый запас древесины на участке FECD.

Рассчитаем величину суммарной грузовой работы при новом расположении погрузочного пункта.

$$R_n^I = R_n + R_{CGD}^F + R_{ECDF}^F = (Q_n / 2)l_n + (Q_n / 2)\Delta x + q\Delta \cdot l_{cp}; \quad (41)$$

$$R_l^I = R_l + R_{BEFA}^D + R_{ECDF}^D = (Q_n / 2)l_l + ((Q_n / 2) - q\Delta)\Delta x + q\Delta \cdot l_{cp}, \quad (42)$$

где  $R_{CGD}^F$  – грузовая работа по трелевке древесины с участка CGD от пункта D к пункту F,  $m^3 \cdot m$ ;

$R_{ECDF}^F$  – грузовая работа по трелевке древесины с участка ECDF к пункту F,  $m^3 \cdot m$ ;

$R_{BEFA}^D$  – грузовая работа по трелевке древесины с участка BEFA от пункта F к пункту D,  $m^3 \cdot m$ ;

$R_{ECDF}^D$  – грузовая работа по трелевке древесины с участка ECDF к пункту D,  $m^3 \cdot m$ ;

$l_{cp}$  – среднее расстояние трелевки с участка ECDF.

Суммарная грузовая работа при новом расположении погрузочного пункта будет равна

$$R^I = (Q_n / 2)(l_l + l_n) + q\Delta \Delta x. \quad (43)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что первоначальное предположение (37) оказалось верным и минимальная величина суммарной грузовой работы по трелевке древесины осуществляется при таком размещении погрузочного пункта, при котором запасы древесины в обеих частях делянки равны между собой

$$R^I - R = q\Delta \Delta x. \quad (44)$$

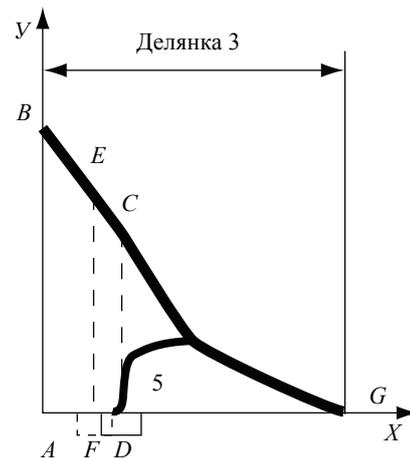


Рис. 5. Расчетная схема к размещению погрузочных пунктов в пределах делянки

При смещении погрузочного пункта из этого положения на величину  $\Delta x$  суммарная грузозагрузка возрастает на величину  $q\Delta \cdot \Delta x$ . Разбив пополам каждый участок, полученный при делении отрезка FG на N равных частей, в такой же последовательности определяем координаты на оси X, соответствующие расположению погрузочных пунктов. Аналогичные расчеты можно провести для выдела любой формы и размера, причем отдельные части выдела могут располагаться по разные стороны от погрузочного пункта.

Методика определения размеров делянок и размещения погрузочных пунктов рассмотрена применительно к поквартальному способу освоения УЛФ, но полученные результаты могут быть использованы и в случае освоения УЛФ, территориально разобщенных между собой, с использованием любой трелевочной техники. При использовании полученных математических зависимостей создаются условия для более эффективного функционирования трелевочных машин. В результате рационального распределения погрузочных пунктов, прокладки трелевочных волоков сокращаются затраты на освоение лесосек и повышается производительность трелевочной техники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники» на 2002–2006 гг.

### Библиографический список

1. Патент №2175830. РФ, МКИ А01G23/02. Способ освоения участков лесного фонда/ Ю.А.Ширнин, Е.М.Царев, Н.А.Крицкая, К.П.Рукомойников №2000129331; Приоритет от 23.11.2000; Оpubл. 20.11.01. Бюл №32. – 4 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЧКИ (ВОЗА) ХЛЫСТОВ ДЕРЕВЬЕВ,  
ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЗА ВЕРШИНЫ В ПОЛУПОДВЕШЕННОМ  
СОСТОЯНИИ РАСЧЕТНЫМ ХЛЫСТОМ**

Г.А. ИВАНОВ, доц. каф. теории и конструирования машин МГУЛ, канд. техн. наук

При определении воздействия пачки хлыстов (воза), перемещаемых за вершины в полуподвешенном состоянии, на элементы технологического оборудования транспортной системы будем следовать подходу, изложенному в [6]. Это позволит после замены пачки осуществлять анализ, оперируя не набором хлыстов, а одним хлыстом.

Каждый ствол дерева, равно как и хлыст, получаемый из данного ствола, характеризуется рядом физических, геометрических и механических параметров [6]. Дополнительные таксационные характеристики хлыстов следующие: диаметр комлевого реза –  $d_0$ , м, диаметр на высоте груди –  $d_{1,3}$ , м, диаметр на середине длины хлыста –  $d_{0,5Lx}$ , м, диаметр в верхнем отрубе –  $d_{0B}$ , м, длина хлыста –  $Lx$ , м [2, 3, 4]. Аналогичные характеристики должен иметь расчетный хлыст, моделирующий пачку.

Задачу по моделированию пачки хлыстов расчетным хлыстом сформулируем аналогично [6]. Для решения поставленной задачи используем допущение, сформулированное в [6]. Нумерацию параметров хлыстов в пачке производим аналогично [6].

Для описания продольного профиля хлыстов пачки и расчетного хлыста будем использовать степенную функцию [5]. В этом случае продольный профиль хлыстов, описываемый через таксационные параметры, имеет вид:

хлыстов пачки

$$r_{i,j}(x) = a_{i,j} \cdot (x_{0i,j} + x)^{\mu_{i,j}} \text{ при } x \in \{0 \dots Lx_{i,j}\}, \quad (1)$$

расчетного хлыста

$$r_p(x) = a_p \cdot (x_{0p} + x)^{\mu_p} \text{ при } x \in \{0 \dots Lx_p\}, \quad (2)$$

где  $r_{i,j}(x)$  и  $r_p(x)$  – радиус хлыста пачки и расчетного хлыста, соответствующий координате  $x$ , м;

$a_{i,j}$  и  $a_p$  – коэффициент в уравнении аппроксимации ствола пачки и расчетного ствола;

$x_{0i,j} = Lc_{i,j} - Lx_{i,j}$  и  $x_{0p} = Lc_p - Lx_p$  – длина удаляемой верхинки стволов пачки и расчетного ствола, м;

$Lc_{i,j}$  и  $Lc_p$  – длина стволов пачки и расчетного ствола, м;

$Lx_{i,j}$  и  $Lx_p$  – длина хлыстов пачки и длина расчетного хлыста, м;

$\mu_{i,j}$  и  $\mu_p$  – показатель степени в уравнении аппроксимации стволов пачки и расчетного ствола;  $x$  – текущая абсцисса, м.

Объем хлыстов пачки и расчетного хлыста будет

$$V_{i,j} = \pi \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}, \quad (3)$$

$$V_p = \pi \cdot a_p^2 \cdot \frac{Lc_p^{2\mu_p+1} - x_{0p}^{2\mu_p+1}}{2\mu_p + 1}. \quad (4)$$

Тогда объем пачки будет

$$V_n = \sum_i \sum_j \pi \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}. \quad (5)$$

Сила тяжести хлыстов пачки и расчетного хлыста будет

$$Q_{i,j} = \rho_{i,j} \cdot 9,807 \cdot \pi \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}, \quad (6)$$

$$Q_p = \rho_p \cdot 9,807 \cdot \pi \cdot a_p^2 \cdot \frac{Lc_p^{2\mu_p+1} - x_{0p}^{2\mu_p+1}}{2\mu_p + 1}. \quad (7)$$

Тогда сила тяжести пачки будет

$$Q_n = \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot 9,807 \pi a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}. \quad (8)$$

Положение центров тяжести хлыстов пачки и расчетного хлыста относительно плоскости отруба вершинок находим по формулам (9, 10).

Положение центра тяжести пачки относительно плоскости отруба вершинок находим по формуле (11).

$$\xi_{i,j} = \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} \cdot [(2\mu_{i,j} + 1) \cdot Lx_{i,j} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})] + (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+2}}{2(\mu_{i,j} + 1) \cdot [Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}]}, \quad (9)$$

$$\xi_p = \frac{Lc_p^{2\mu_p+1} \cdot [(2\mu_p + 1) \cdot Lx_p - (Lc_p - Lx_p)] + (Lc_p - Lx_p)^{2\mu_p+2}}{2(\mu_p + 1) \cdot [Lc_p^{2\mu_p+1} - (Lc_p - Lx_p)^{2\mu_p+1}]}. \quad (10)$$

$$\xi_n = \frac{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} \cdot [(2\mu_{i,j} + 1)Lx_{i,j} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})] + (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+2}}{(\mu_{i,j} + 1) \cdot (2\mu_{i,j} + 1)}}{2 \cdot \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}} \quad (11)$$

Средняя плотность пачки будет

$$\rho_{cp.n} = \frac{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0,i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}}{\sum_i \sum_j a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - x_{0,i,j}^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}} \quad (12)$$

Момент инерции сечения хлыстов пачки и расчетного хлыста на расстоянии  $x$  от плоскости отруба вершинок будет

$$I_{i,j}(x) = (\pi / 4) \cdot [a_{i,j}(Lc_{i,j} - Lx_{i,j} + x)^{\mu_{i,j}}]^4 \quad (13)$$

при  $x \in \{0 \dots Lx_{i,j}\}$ ,

$$I_p(x) = (\pi / 4) \cdot [a_p(Lc_p - Lx_p + x)^{\mu_p}]^4 \quad (14)$$

при  $x \in \{0 \dots Lx_p\}$ .

Тогда момент инерции сечения пачки на расстоянии  $x$  от плоскости отруба вершинок будет

$$I_n(x) = (\pi / 4) \cdot \sum_i \sum_j [a_{i,j}(Lc_{i,j} - Lx_{i,j} + x)^{\mu_{i,j}}]^4 \quad (15)$$

при  $x \in \{0 \dots Lx_{i,j}\}$ .

Длину расчетного ствола определяем как средневзвешенную величину стволов пачки по формуле

$$Lc_p = \frac{\sum_i \sum_j Lc_{i,j} \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}}{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}} \quad (16)$$

Длину расчетного хлыста определяем как средневзвешенную величину хлыстов пачки по формуле

$$Lx_p = \frac{\sum_i \sum_j Lx_{i,j} \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}}{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}} \quad (17)$$

Для вычисления показателя степени  $\mu_p$  в уравнении аппроксимации расчетного ствола степенной функцией приравняем центр тяжести пачки центру тяжести расчетного хлыста

$$\xi_n = \xi_p \quad (18)$$

Подставим в уравнение (18) значения  $\xi_n$  и  $\xi_p$  из формул (11) и (10) и перенесем все в одну сторону, тогда  $\mu_p$  будет решением полученного уравнения.

$$\frac{Lc_p^{2\mu_p+1} \cdot [(2\mu_p + 1) \cdot Lx_p - (Lc_p - Lx_p)] + (Lc_p - Lx_p)^{2\mu_p+2}}{2(\mu_p + 1) \cdot [Lc_p^{2\mu_p+1} - (Lc_p - Lx_p)^{2\mu_p+1}]} - \frac{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} \cdot [(2\mu_{i,j} + 1)Lx_{i,j} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})] + (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+2}}{(\mu_{i,j} + 1) \cdot (2\mu_{i,j} + 1)}}{2 \cdot \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot a_{i,j}^2 \cdot \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}} = 0 \quad (19)$$

Для вычисления коэффициента  $a_p$  в уравнении аппроксимации расчетного ствола степенной функцией приравняем момент инерции сечения пачки моменту инерции сечения расчетного хлыста. Так как в формулировке задачи не оговорено конкретное сечение пачки и расчетного хлыста, то равенство моментов инерции принимаем при  $x = 0$ , т. е. в плоскости отруба вершинок.

$$I_n(0) = I_p(0) \quad (20)$$

Подставим в уравнение (20) значения  $I_n(0)$  и  $I_p(0)$  из формул (15) и (14) и разрешим получен-

ное выражение относительно  $a_p$ . В итоге получим формулу

$$a_p = \frac{\left[ \sum_i \sum_j (a_{i,j} \cdot (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{\mu_{i,j}})^4 \right]^{1/4}}{(Lc_p - Lx_p)^{\mu_p}} \quad (21)$$

Здесь  $\mu_p$  определяется по формуле (19).

Для вычисления средней плотности расчетного хлыста  $\rho_p$  приравняем силу тяжести пачки  $Q_n$  силе тяжести расчетного хлыста  $Q_p$

$$Q_n = Q_p \quad (22)$$

Подставим в уравнение (22) значения  $Q_n$  и  $Q_p$  из формул (8) и (7) и разрешим полученное выражение относительно  $\rho_p$ . В итоге получим

$$\rho_p = \frac{\sum_i \sum_j \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1}}{a_p^2 \frac{Lp^{2\mu_p+1} - (Lc_p - Lx_p)^{2\mu_p+1}}{2\mu_p + 1}}, \quad (23)$$

где  $\mu_p$  определяется по формуле (19), а  $a_p$  по (21).

Для вычисления среднего модуля упругости расчетного хлыста  $E_p$  приравняем жесткость пачки жесткости расчетного хлыста  $E_p \cdot I_p(x)$ . Равенство жесткостей принимаем на расстоянии  $x_{i,j} = Lc_{i,j} - Lx_{i,j}$  пачки и  $x_p = Lc_p - Lx_p$  расчетного хлыста от плоскости отруба вершинок.

$$\frac{\pi}{4} \cdot \sum_i \sum_j E_{i,j} \cdot \left[ a_{i,j} \left[ 2 \cdot (Lc_{i,j} - Lx_{i,j}) \right]^{\mu_{i,j}} \right]^4 = E_p \cdot I_p \left[ 2 \cdot (Lc_p - Lx_p) \right]^{\mu_p}. \quad (24)$$

Подставим в уравнение (24) значения  $I_p(Lc_p - Lx_p)$  из формулы (14) и разрешим полученное выражение относительно  $E_p$ , получим

$$E_p = \frac{\sum_i \sum_j E_{i,j} \cdot \left[ a_{i,j} \left[ 2 \cdot (Lc_{i,j} - Lx_{i,j}) \right]^{\mu_{i,j}} \right]^4}{\left[ a_p \left[ 2 \cdot (Lc_p - Lx_p) \right]^{\mu_p} \right]^4}, \quad (25)$$

где  $\mu_p$  определяется по формуле (19) и  $a_p$  по (21).

Центр комлевого среза расчетного хлыста дерева определяем как средневзвешенную величину центров отрубов вершинок хлыстов пачки относительно нижней кромки хлыстов в пачке с учетом высоты установки щита, коника или шарнира крепления захвата манипулятора конструктивной по формуле

$$H_p = \frac{\sum_i \sum_j H_{i,j} \left( \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1} \right)^{3/2}}{\sum_i \sum_j \left( \rho_{i,j} a_{i,j}^2 \frac{Lc_{i,j}^{2\mu_{i,j}+1} - (Lc_{i,j} - Lx_{i,j})^{2\mu_{i,j}+1}}{2\mu_{i,j} + 1} \right)^{3/2}} + H_T. \quad (26)$$

Здесь  $H_{i,j}$  – высота положений центров отрубов вершинок стволов пачки, определяемая геометрическим построением кругов отрубов вершинок стволов в захвате относительно нижней кромки хлыстов пачки. Радиусы кругов определяются из формулы (1) при  $x = 0$ .

В таком случае высота положений центров отрубов вершинок стволов пачки относительно опорной поверхности будет определяться выражением

$$H_{i,j} = H_{o_{i,j}} + H_T \quad (27)$$

где  $H_T$  – высота нижней кромки кругов отрубов вершинок стволов в захвате.

В приведенных выше формулах используется параметр длины ствола, которого нет у хлыста. Длина ствола  $Lc$ , восстанавливаемая по параметрам хлыста (диаметр комлевого реза –  $d_0$ , м, диаметр на середине длины хлыста –  $d_{0,5Lx}$ , м, диаметр в верхнем отрубе –  $d_{0B}$ , м, длина хлыста –  $Lx$ ), является решением уравнения

$$\ln \left( \frac{d_{0,5Lx,j}}{d_{0i,j}} \right) \cdot \ln \left( \frac{Lc_{i,j} - Lx_{i,j}}{Lc_{i,j}} \right) - \ln \left( \frac{d_{0B,j}}{d_{0i,j}} \right) \cdot \ln \left( \frac{2Lc_{i,j} - Lx_{i,j}}{2 \cdot Lc_{i,j}} \right) = 0. \quad (28)$$

В том случае, если вместо диаметра на середине длины хлыста –  $d_{0,5Lx}$  использовать диаметр на высоте груди –  $d_{1,3}$ , то длина  $Lc$  восстановленного ствола будет решением уравнения

$$\ln \left( \frac{d_{0B,j}}{d_{0i,j}} \right) \cdot \ln \left( \frac{Lc_{i,j} - 1,3}{Lc_{i,j}} \right) - \ln \left( \frac{d_{1,3,j}}{d_{0i,j}} \right) \cdot \ln \left( \frac{Lc_{i,j} - Lx_{i,j}}{Lc_{i,j}} \right) = 0. \quad (29)$$

Показатель степени  $\mu_{i,j}$  в уравнении аппроксимации стволов пачки находим по формуле

$$\mu_{i,j} = \frac{\ln(d_{0i,j}) - \ln(d_{0B,j})}{\ln(Lc_{i,j}) - \ln(Lc_{i,j} - Lx_{i,j})}. \quad (30)$$

Коэффициент в уравнении аппроксимации стволов пачки  $a_{i,j}$  находим по формуле

$$a_{i,j} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d_{0i,j}}{Lc_{i,j}^{\mu_{i,j}}}. \quad (31)$$

### Библиографический список

1. Боровиков, А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 295 с.
2. Анучин, Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 552 с.
3. Загребов, В.В. Лесная таксация и лесоустройство / В.В. Загребов, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева и др. – М.: Экология, 1993. – 384 с.
4. Захаров, В.К. Лесная таксация. – 2-е изд. / В.К. Захаров – М.: Лесная пром-сть, 1967. – 408 с.
5. Иванов, Г.А. Влияние таксационных показателей на параметры формулы образующей продольного профиля ствола дерева и на его объем / Г.А. Иванов: сб. науч. тр. МГУЛ. – Вып. 297. – 1998.
6. Иванов, Г.А. Моделирование пачки (воза) стволов деревьев, перемещаемых за комли в полуподвешенном состоянии расчетным стволом / Г.А. Иванов // Вестн. Моск. гос. ун-та – Лесной вестник. – 2007. – № 1(50). – С. 134–136.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

В.К. КУРЬЯНОВ, *проф. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук,*  
О.Н. БУРМИСТРОВА, *доц. Ухтинского ГТУ, канд. техн. наук*

Возмущение, приложенное к автомобилю вследствие неравномерности действия тормозных механизмов (НДТМ) в различных условиях эксплуатации (начальной скорости торможения, продольного и поперечного уклонов дороги, радиусов закругления и неровностей дорожного полотна) вызывает различные по величине боковые реакции продольные  $j_x$  и поперечные  $j_y$  – ускорения центра масс, что, в свою очередь, определяет законы изменения в зависимости от вышеперечисленных эксплуатационных условий параметров, характеризующих эффективность  $S_T$  и устойчивости  $Z_{габ}$  торможения транспортных средств. На рисунке представлены графики, которые на основании комплекса экспериментальных исследований, проведенных на автомобиле КамАЗ-5320 в условиях ровного, прямолинейного, без уклонов дорожного полотна с различными неравномерными действиями тормозных механизмов по осям и борту и различными начальными скоростями  $v_0$ , показывают функциональные зависимости  $S_T$ ,  $\beta$  и  $Z_{габ}$  от неравномерности действия тормозных механизмов и начальной скорости торможения. Можно отметить, что неравномерность действия тормозных механизмов, присутствующая на передней оси задней тележки и по борту автомобиля, при незначительном увеличении, вызывает удлинение тормозного пути автомобиля. Наибольшее увеличение тормозного пути происходит, если наблюдается снижение эффективности действия тормозных механизмов на всех колесах борта автомобиля, т.е. когда происходит значительное сокращение суммарной тормозной силы автомобиля.

Увеличение неравномерности действия тормозных механизмов приводит к возрастанию поворачивающего момента, действующего в горизонтальной плоскости на автомобиль, появлению углов увода или заноса его осей и значительному развороту его продольной оси  $\beta$  (угол рыскания). При этом при различных  $v_0$  наблюдается наибольшее возрастание с увеличением неравномерности действия тормозных механизмов по борту, когда действуют весьма большие поворачивающие моменты.

Присутствующая неравномерность действия тормозных механизмов на задних колесах оказывает меньшее воздействие на величину  $\beta$ , чем такая же неравномерность действия тормозных механизмов на колесах передней оси, т.к. в первом случае происходит блокирование обоих передних колес автомобиля и возникающая центробежная сила инерции как бы выправляет отклонение передней оси в сторону.

Во втором же случае (НДТМ на передней оси) происходит занос задней тележки вокруг заблокированной полностью передней оси.

На рисунке представлена  $Z_{габ}$  передней правой точки корпуса автомобиля. Можно отметить, что при неравномерности действия тормозных механизмов на колесах передней оси и по борту значительно увеличивается  $Z_{габ}$  с возрастанием неравномерности действия тормозных механизмов.

Однако, если неравномерность действия тормозных механизмов присутствует на колесах задней тележки, когда заблокированы колеса передней оси, можно отметить падение величины  $Z_{габ}$  с увеличением неравномерности действия тормозных механизмов до 50 % и возрастанием начальной скорости движения. Это объясняется определенным сочетанием заблокированных колес и действием центробежной силы инерции, стремящейся воспротивиться отклонению передней оси (следовательно и  $Z_{габ}$ ) в сторону.

На рисунке (г) показаны законы изменения  $S_T$ ,  $\beta$ ,  $Z_{габ}$  в зависимости от начальной скорости торможения автомобиля, при этом для примера выбиралось 30 % неравномерности действия тормозных механизмов по передней оси, задней тележке и борту.

Согласно приведенным графикам, с ростом  $v_0$  наблюдается параболическая зависимость  $S_T = S_T(v_0)$ , незначительное возрастание и увеличение  $Z_{габ}$  при неравномерности действия тормозных механизмов на передней оси и по борту автомобиля. Если неравномерность действия тормозных механизмов присутствует только на колесах задней тележки, то изменение  $Z_{габ}$  от  $v_0$  практически отсутствует.

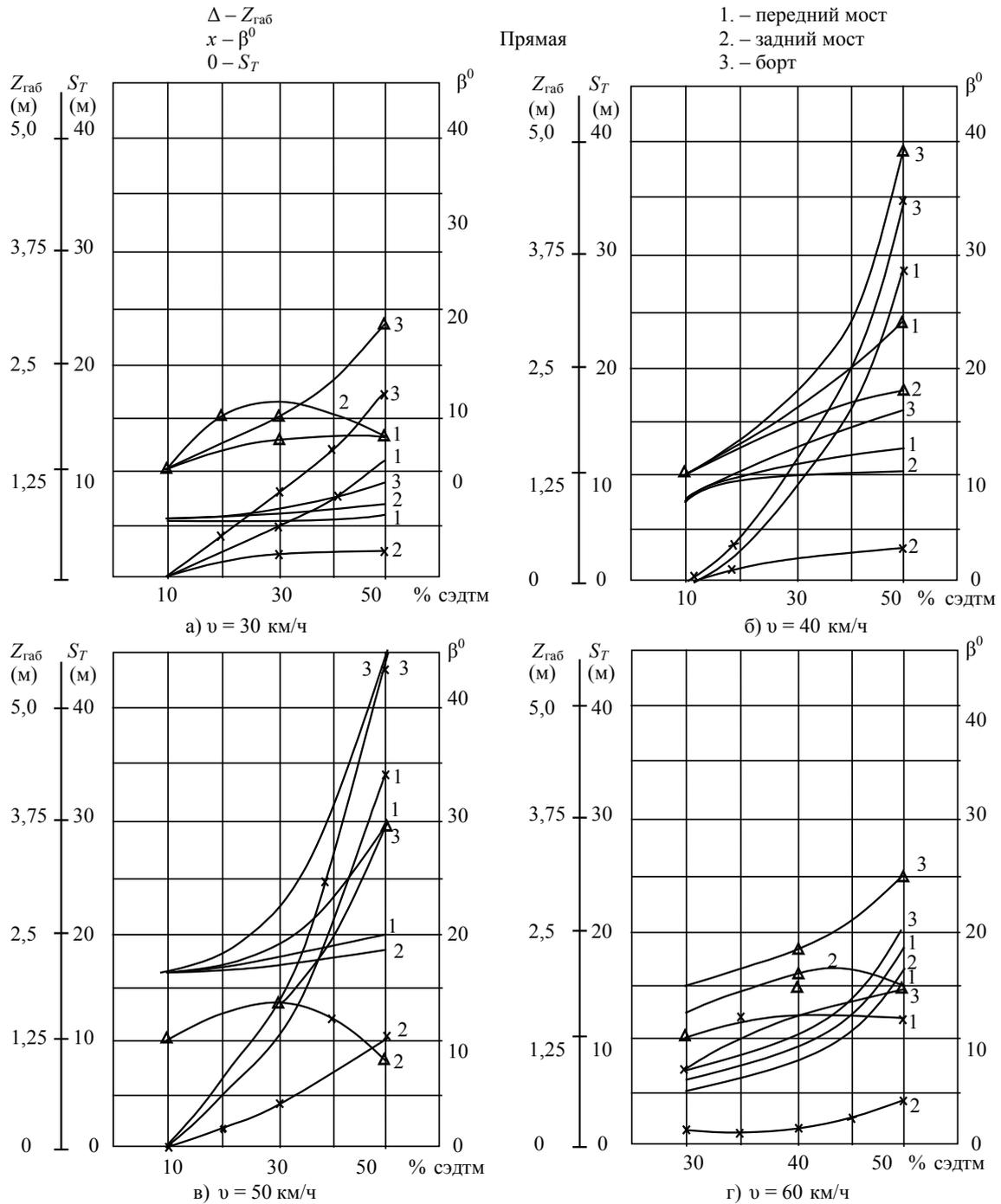


Рис. 1. Функциональная зависимость  $S_T$ ,  $\beta$  и  $Z_{габ}$  от неравномерности действия тормозных механизмов и начальной скорости торможения

Подобные физические явления протекания процесса торможения автомобиля во всех вышеуказанных эксплуатационных условиях движения автомобиля проявляются качественно практически одинаково. Поэтому мы будем останавливаться только на тех отличиях, которые выявляются в ходе анализа функциональных зависимостей  $S_T$ ,  $Z_{габ}$  и  $\beta$  от уклона дороги, радиуса разворота и ее неровностей.

В зависимости  $Z_{габ}$  от  $f$  (НДТМ) при всех начальных скоростях торможения  $v_0$  наблюдается

некоторое увеличение  $Z_{габ}$  при неравномерности действия тормозных механизмов в 30 %, которое можно объяснить определенным в данных условиях действием поворачивающего момента, связанного с неравномерностью действия тормозных механизмов, противоположно действующей центробежной силой инерции и сочетанием заблокированных колес.

Можно отметить, что большое влияние на  $Z_{габ}$  и  $\beta$  оказывает сочетание заблокированных колес, т.к. при большей неравномерности действия

тормозных механизмов на передней оси наблюдается большой занос задней тележки при незаблокированном переднем колесе. Наиболее опасный уход в сторону автомобиля ( $Z_{\text{габ}}$ ) наблюдается при бортовой неравномерности действия тормозных механизмов.

При анализе результатов экспериментальных исследований можно было отметить больший разброс экспериментальных данных при одних и тех же начальных условиях торможения вследствие движения автомобиля при случайном профиле дороги.

Однако законы изменения  $S_T$ ,  $Z_{\text{габ}}$  и  $\beta$  носили практически одинаковый качественный характер, какой наблюдался при торможении автомобиля на ровной поверхности.

Законы изменения  $S_T$  в зависимости от начальной скорости торможения при одних и тех же неравномерностях действия тормозных механизмов носят параболический характер. Однако следует отметить, что наличие неровностей дороги сокращает длину тормозного пути вследствие дополнительных затрат кинетической энергии движения за счет перекатывания автомобиля через неровности.

Величина  $S_T$  также значительно возрастает при бортовой неравномерности действия тор-

мозных механизмов и неравномерности действия тормозных механизмов на задней тележке вследствие уменьшения общей суммарной тормозной силы  $\Sigma P_{\text{тор}}$ .

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования на базе автомобиля КамАЗ-5320 позволили оценить физическую картину тормозной динамики автомобилей и выявить влияние на показатель эффективности  $S_T$  и устойчивости  $Z_{\text{габ}}$  торможения уклонов дороги радиусов ее поворота и микропрофиля, а также начальной скорости движения  $v_0$  и величины неравномерности действия тормозных механизмов автомобиля.

Проведение теоретических и экспериментальных исследований обычными методами однофакторного эксперимента, когда варьируется один фактор, а другие остаются постоянными, весьма трудоемко и подчас неточно описывает физическую картину процесса, так как не позволяет одновременно выявить количественную сторону влияния того или иного фактора. С целью резкого уменьшения объема теоретических и экспериментальных исследований в данной работе применялась прогрессивная методика построения математической теории планированного многофакторного эксперимента.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ ЛЕСНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Е.А. ТАРАСОВ, *ассистент каф. производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТА, канд. техн. наук*

**В** связи с резким ростом цен на энергоресурсы одним из основных путей повышения эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов (ЛПА) стала экономия топлива. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является использование в гидроприводах ЛПА совершенных рекуперативных систем (РС) (рис. 1) [1].

В результате многолетних исследований на кафедре производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежской государственной лесотехнической академии были разработаны три работающие независимо друг от друга РС энергии: гидравлического предохранителя рабочих органов почвообрабатывающего орудия, ходовой части и навесного механизма трактора.

Принцип работы всех РС основан на насосном эффекте, проявляющемся при функционировании их гидроцилиндров с помощью сис-

темы дросселей и обратных клапанов. Первая из перечисленных РС рекуперировывает энергию при движении ЛПА на лесных объектах, когда агрегат неизбежно испытывает значительные вертикальные нагрузки и перемещения. При этом последние поглощаются упругой системой ходовой части трактора и, в частности, его амортизаторами. В этом случае аккумуляция рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе (ПГА) осуществляется с помощью амортизаторов, дросселей и обратных нормально закрытых клапанов (рис. 2, а).

Вторая РС обеспечивает возвращение энергии в ПГА при демпфировании гидропривода навесного механизма в периоды, когда гидрораспределитель устанавливается в положения «Нейтральное» или «Опускание». Здесь роль насосного узла выполняет подпружиненный мультипликатор давления (рис. 2, б).

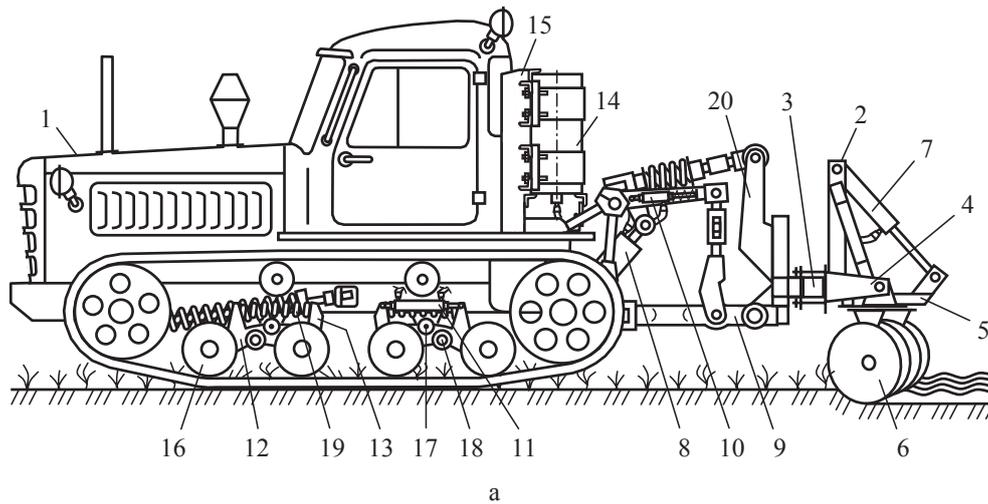


Рис. 1. Устройство (а) и общий вид (б) экспериментального образца лесного почвообрабатывающего агрегата с рекуперативным гидроприводом: 1 – трактор; 2 – лесной дисковый культиватор с гидравлическим предохранителем; 3 – рама культиватора; 4 – рамка секции дисковой батареи; 5 – поворотная стойка дисковой батареи; 6 – дисковая батарея; 7 – гидроцилиндр предохранителя культиватора; 8 – гидроцилиндр навесного механизма; 9 – звенья механизма навески трактора; 10 – подпружиненный мультипликатор давления навесного механизма трактора; 11 – мультипликатор давления РС каретки; 12 и 13 – внешний и внутренний балансиры каретки; 14 – ПГА; 15 – кронштейн крепления ПГА; 16 – опорный каток; 17 и 18 – оси качания внутреннего и внешнего балансиров каретки; 19 – пружина каретки; 20 – автоматическая сцепка.

Третья РС аккумулирует энергию, затрачиваемую трактором на преодоление рабочими органами почвообрабатывающего орудия непреодолимых препятствий (пней, валунов, крупных корней и т.п.). При этом стойка с рабочими органами отклоняется вверх относительно рамы орудия, а поршень гидроцилиндра предохранительного механизма вытесняет рабочую жидкость в ПГА. После преодоления рабочими органами препятствия поршень гидроцилиндра возвращается в исходное состояние под воздействием ранее запа-

сенной энергии в ПГА, причем эта вытесненная рабочая жидкость компенсируется в гидроцилиндре предохранительного механизма с помощью насоса агрегируемого трактора (рис. 2, в).

ЛПА с энергосберегающей системой исследовался в полевых условиях методом электротензометрирования с помощью тензооборудования, смонтированного в кабине трактора испытываемого агрегата. Основу комплекта тензолаборатории составляют устройства серии ADAM, которые представляют собой набор интеллектуальных мо-

дулей, обеспечивающих интерфейс компьютера и содержащих встроенные микроконтроллеры. Модули дистанционно управляются с помощью простого набора команд, выдаваемых в ASCII формате и передаваемых по коммуникационному протоколу RS-485. Модули обеспечивают выполнение согласования сигналов, их изоляцию, преобразования диапазонов, аналого-цифрового (A/D) и цифро-аналогового (D/A) преобразования, сравнение данных и их цифровую передачу. Для обеспечения управления реле и другими подобными устройствами в состав некоторых модулей включены каналы цифрового ввода/вывода. Каждому модулю соответствует свой собственный набор, включающий примерно десять команд.

Соединение с сетью по интерфейсу RS-485 обеспечивает возможность снижения помех при снятии сигналов с датчиков, поскольку модули могут быть установлены максимально близко к объекту. В многоточечную сеть с интерфейсом RS-485 может быть подключено до 256 модулей, что реализуется с помощью повторителя ADAM RS-485, позволяющего увеличить максимальное расстояние передачи до 1200 метров. Подключение в сеть системного компьютера выполняется через один из его COM-портов с помощью интерфейсного преобразователя ADAM-4520 [2].

Эксперименты в полевых условиях на участках с препятствиями проводились в Новоусманском лесхозе Воронежского лесхоза. Рельеф участков равнинно-волнистый с уклонами не более 5°, почва лесная супесчаная с растительными включениями в виде веток и сучьев диаметром 4–8 см, и крупных корней диаметром 12 см и выше. Имелись участки суглинистой почвы с развитой травяной растительностью, а также участки с сильным задержанием [3].

Выполненные эксперименты на лесных объектах ЛПА с предложенными РС в целом подтвердили их работоспособность и эффективность. Так, было установлено, что мощность, потребляемая насосом при среднем рабочем давлении 10 МПа, составляет 9,79 кВт. Мощность двигателя трактора ДТ-75М – 45,63 кВт. Соотношение возвращенной энергии РС к затраченной ЛПА составляет 70,7 %, т.е. на эту величину сокращается время работы насоса. Расчеты показывают, что потребная мощность насоса сократится примерно на 7,36 кВт и в пересчете на экономию топлива ЛПА ориентировочно составит 16,13 % [4]. Эта величина по РС распределяется следующим об-

разом: ходовая часть трактора – 70 %, навесной механизм трактора – 19 %, предохранительный механизм почвообрабатывающего орудия – 11 % (рис. 3).

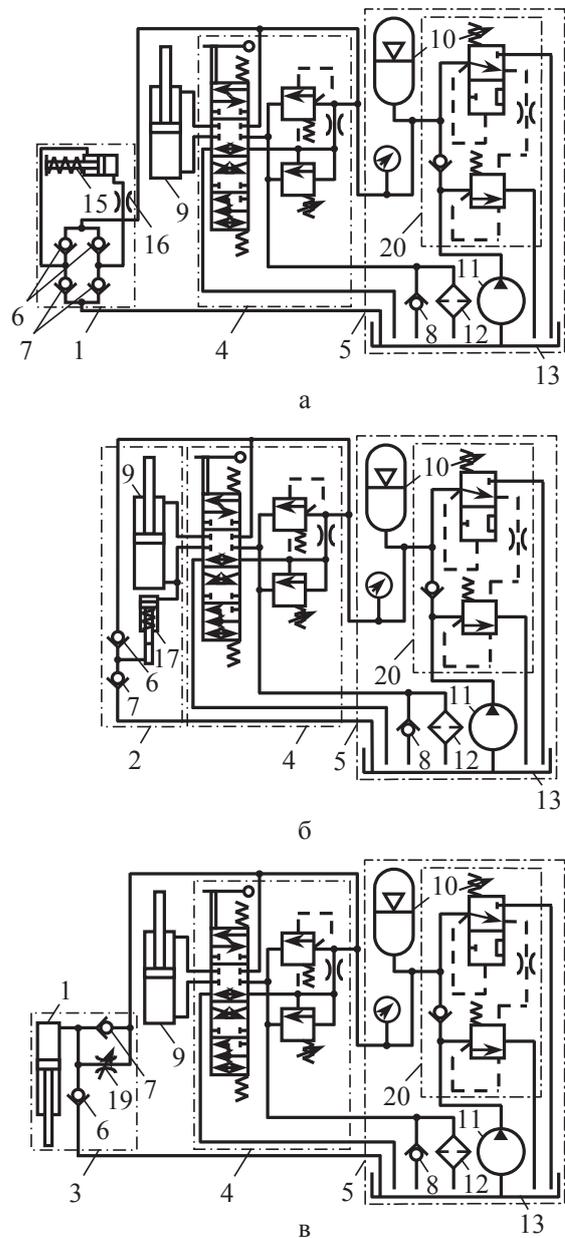


Рис. 2. Гидравлические схемы РС: а – ходовой части трактора, на примере каретки подвески; б – механизма навески трактора; в – предохранителя почвообрабатывающего орудия. 1 – система рекуперации ходовой части трактора, на примере каретки подвески; 2 – система рекуперации механизма навески трактора; 3 – система рекуперации предохранителя почвообрабатывающего орудия; 4 – гидрораспределитель; 5 – насосно-аккумуляторный узел; 6, 7 и 8 – клапаны обратные; 9 – гидроцилиндр навесного механизма стэнда; 10 – пневмогидроаккумулятор; 11 – насос; 12 – фильтр; 13 – гидробак; 14 – манометр; 15 – амортизатор; 16 – дроссель нерегулируемый; 17 – мультипликатор давления; 18 – гидроцилиндр предохранителя рабочих органов навесного орудия; 19 – дроссель регулируемый; 20 – клапан разгрузочный автоматический

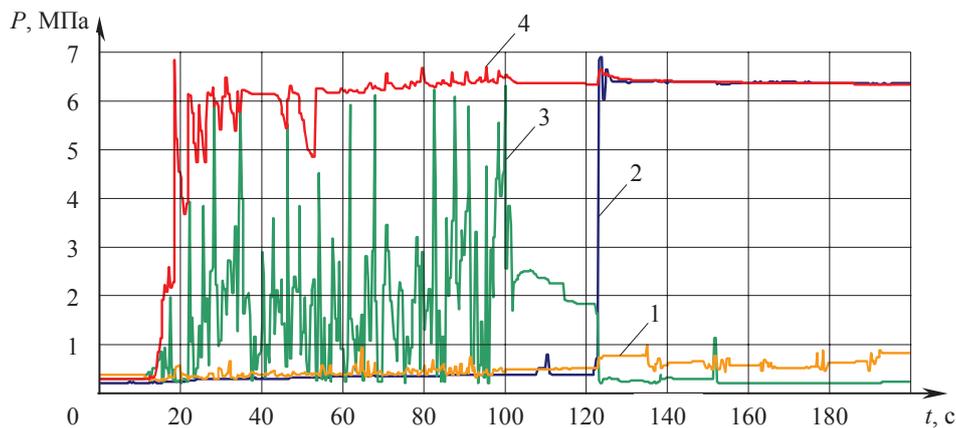


Рис. 3. Фрагменты осциллограмм экспериментальной проверки ЛПА с рекуперативным гидроприводом. Кривые измеряемых параметров: 1 – давление в гидроцилиндре РС предохранителя лесного дискового культиватора; 2 – давление в мультипликаторе РС механизма навески трактора; 3 – давление в мультипликаторе РС ходовой части, на примере каретки подвески трактора; 4 – давление в ПГА

Анализ результатов опытно-производственной проверки почвообрабатывающего агрегата показал также, что использование всех трех предлагаемых РС позволяет снизить расход топлива двигателем агрегируемого трактора, в зависимости от числа препятствий, их высоты, скорости движения ЛПА и других факторов [5]. Увеличение количества препятствий оказывает влияние на топливную экономичность, в связи с возрастающей цикличностью работы гидроцилиндров соответствующих РС и увеличением объема жидкости накопленного в ПГА. Следовательно, при поддержании гидроцилиндрами РС давления в ПГА не менее 6 МПа (минимальное достаточное давление для удовлетворительной работы механизма навески трактора) гидропривод осуществляет свою работу только от этой энергии. Кроме того, ПГА хорошо защищает навесной механизм трактора от динамических воздействий и выполняет роль демфера.

К недостаткам рекуперативного гидропривода можно отнести малую энергоемкость использованного ПГА, который частично удалось устранить за счет увеличения числа ПГА, установленных на ЛПА.

Анализ результатов экспериментов для ЛПА с энергосберегающим гидроприводом позволил сделать следующие основные выводы:

- результаты в целом подтвердили правильность предпосылок, заложенных при обосновании конструкции ЛПА с энергосберегающим гидроприводом;
- использование всех трех предлагаемых РС позволяет снизить расход топлива двигателем

агрегируемого трактора на 20–30 %, в зависимости от числа препятствий, их высоты, скорости движения ЛПА и других факторов;

– предлагаемые РС способны практически полностью выполнять функции гидронасоса, что позволяет отказаться от последнего в перспективных гидроприводах для ЛПА;

– дальнейшее совершенствование энергосберегающего гидропривода для ЛПА связано в основном с увеличением энергоемкости ПГА.

### Библиографический список

1. Посметьев, В.И. Перспективные рекуперативные системы для гидроприводов лесных почвообрабатывающих агрегатов / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.С. Кухарев // Наука и образование на службе лесного комплекса. Т. 2: сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 132–136.
2. Посметьев, В.И. Математическое моделирование почвообрабатывающего агрегата с рекуперативным гидроприводом / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, Е.В. Снятков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – Прил. 5. – С. 82–84.
3. Тарасов, Е.А. Обоснование целесообразности использования рекуперативной системы в лесном почвообрабатывающем агрегате / Е.А. Тарасов. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. – 38 с.
4. Посметьев, В.И. Результаты экспериментальной проверки эффективности рекуперативного гидропривода для лесного почвообрабатывающего агрегата / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2006. – Препринт № 106. – С. 3–7.
5. Посметьев, В.И. Исследование с помощью математической модели динамики почвообрабатывающего агрегата, оснащенного системой рекуперации энергии / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, Е.В. Снятков, В.В. Посметьев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – Вып. 8. – С. 44–47.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Н.И. МОШКИН, доц. каф. «Автомобили» Восточно-Сибирского ГТУ, канд. техн. наук

Как широко известно [1], важнейшим средством повышения эффективности использования автомобилей, сокращения средств на ремонт и техническое обслуживание является техническая диагностика. Одной из наиболее сложных систем, на долю которой приходится достаточно большой процент неисправностей и нарушений регулировки, является система зажигания (СЗ). Неисправности данной системы значительно ухудшают работу автомобиля, что ведет к увеличению расхода топлива, снижению мощности и т.д. В настоящее время процесс поиска и анализа неисправностей в системе зажигания бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) производится при помощи визуального наблюдения за осциллограммами первичного и вторичного напряжения. Осциллограмма первичного и вторичного напряжения является широко информативным диагностическим сигналом [2]. С его помощью можно определить большое количество параметров технического состояния в системе зажигания:

- углы замкнутого (и разомкнутого) состояния контактов прерывателя для каждого цилиндра;
- различие углов опережения зажигания между отдельными цилиндрами:
  - состояние контактов прерывателя;
  - состояние конденсатора;
  - состояние первичной и вторичной обмоток катушки зажигания (включая межвитковые замыкания);
  - наличие дефектов в первичной цепи;
  - дефекты изоляции вторичной цепи системы зажигания, а также наличие обрывов;
  - максимальное напряжение на выходе катушки зажигания под нагрузкой и на холостом ходу;
  - дефекты помехоподавительных резисторов;
  - дефекты свечей зажигания (увеличение зазора, нагар на свечах, трещины в изоляторах);
  - наличие механических дефектов в распределителе (износ кулачкового валика, уменьшенные усилия пружины молоточка прерывателя) и т.д.

Наблюдение за характером протекания процессов первичной и вторичной цепей системы зажигания в функции от времени обеспечивается при помощи электронно-лучевых осциллоскопов (ЭЛО).

При всех достоинствах существующих средств и методов диагностирования у них наблюдается один общий недостаток – влияние на качество постановки диагноза квалификации и профессионализма оператора-диагноста, вследствие чего увеличивается вероятность возникновения ошибок и увеличивается время постановки диагноза.

Указанные недостатки, обусловленные влиянием человеческого фактора, сочетаются с недостатками метода диагностирования, которые заключаются в следующем:

1. Невысокая оперативность диагностирования. Оператору необходимо время для анализа получаемой информации, проведения дополнительных измерений и тестовых воздействий.
2. Низкая эффективность диагностирования других типов систем зажигания (БСЗ, МПСУД и т.д.). Известно [6], что метод наблюдения характера протекания напряжения в первичной и вторичной цепи систем зажигания не дает однозначного ответа о неисправных элементах данных систем. Поэтому для диагностирования СЗ, оснащенных электронными блоками или работающими на базе микропроцессорной техники, необходимы дополнительные диагностические приборы.
3. Низкая эффективность диагностирования в случае полного отказа системы зажигания (двигатель не запускается). Наличие неисправностей, приводящих к полному нарушению функционирования систем зажигания, делает невозможным постановку диагноза при помощи наблюдения за осциллограммами.
4. Возможность диагностирования преимущественно установившихся режимов работы системы зажигания. В случае появления «плавающих» неисправностей и кратковременных сбоев в работе СЗ чрезвычайно трудно уловить изменения в характеристиках их напряжения первичной и вторичной цепи.

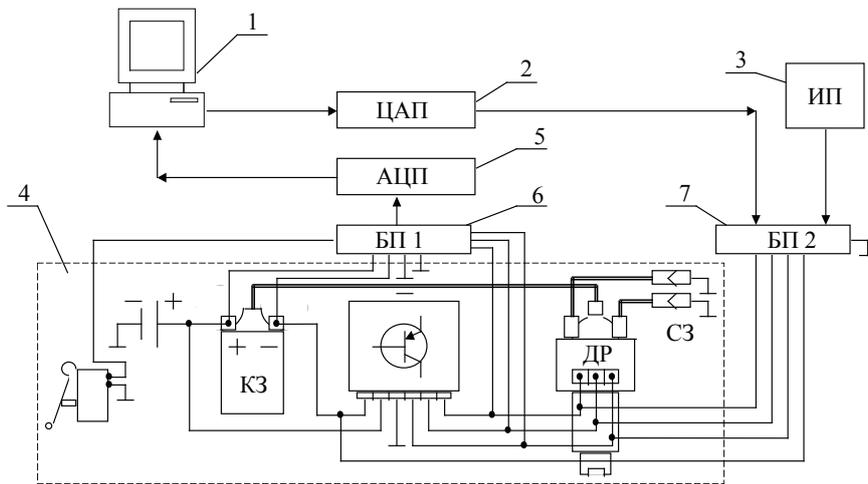


Рис. 1. Структурная схема локального диагностического комплекса: 1 – персональный компьютер; 2 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 3 – источник питания; 4 – диагностируемая система зажигания; 5 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 6 – блок преобразователей 1; 7 – блок преобразователей 2

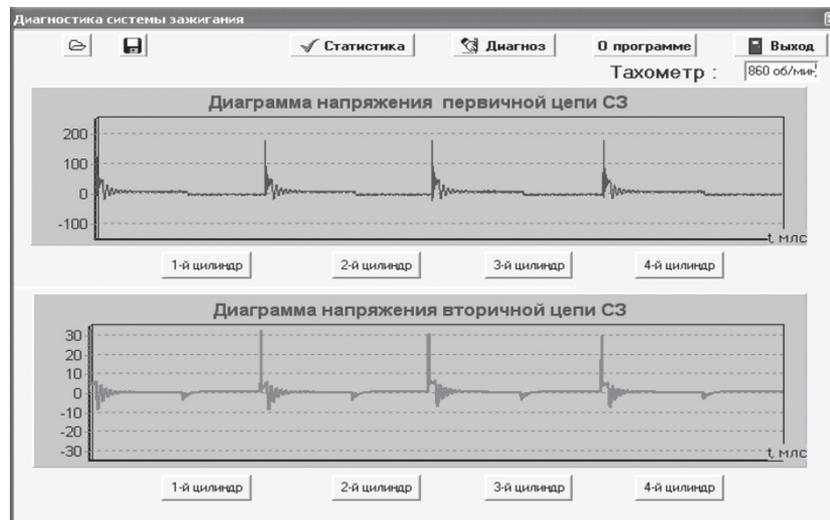


Рис. 2. Диалоговое окно диагностической программы

Применение современных компьютерных технологий позволит значительно уменьшить влияние человеческого фактора на процесс постановки диагноза. Возможности существующих электронно-вычислительных машин позволяют полностью автоматизировать процесс съема диагностического сигнала, его обработку и анализ, хранение на внешних носителях, а также постановку диагноза.

На кафедре «Автомобили» ВСГТУ разработан метод дифференциального диагностирования электронных систем зажигания на основе теории распознавания образов. Метод заключается в анализе диагностических участков на характеристиках первичного и вторичного напряжений системы зажигания в автоматическом режиме. Изменения диагностических участков характеризуются диагностическими признака-

ми, функционально связанными с изменениями параметров технического состояния, и их совокупность является основой для определения технического состояния диагностируемой системы. Отличительной особенностью разработанного метода является его способность повышать качество поставленного диагноза в зависимости от количества и качества предыдущих испытаний, в методе реализован алгоритм самообучения с применением элементов искусственного интеллекта [3, 4].

Для реализации метода дифференциального диагностирования и проведения экспериментальных исследований разработано оборудование, позволяющее выполнять следующие функции:

- измерение и регистрация параметров процесса функционирования;

- обеспечение тестовых сигналов;
- обработка, анализ и хранение полученной информации;
- осуществление постановки диагноза.

Для реализации данных функций разработан компьютерный диагностический комплекс (рис. 1), включающий измерительный и компьютерный блоки.

В состав измерительного блока также входят датчики: датчик высокого напряжения емкостного типа ДВН-2Э (коэффициент деления равен 1000) с погрешностью измерения не более 3,2 % и индуктивный датчик для синхронизации первичного и вторичного сигнала ИД-1.

Напряжение из диагностируемых цепей объекта диагностирования поступает в блок преобразователей № 1 и затем в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Блок преобразователей представляет собой делитель напряжения для согласования выходного напряжения датчиков с уровнем входного напряжения на АЦП.

Делители, используемые в блоке преобразователей, выполнены по классической схеме, для деления напряжения в цепи низкого напряжения используются обычные резистивные делители, а для деления высоковольтного напряжения – емкостно-резистивные. Блок преобразователей № 2 представляет собой усилитель тока для увеличения тока и напряжения в соответствии с поданным сигналом из ЦАП компьютера.

В качестве аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователя в комплексе применяется плата АЦП-ЦАП L-783 производственного объединения «L-Card». На плате установлен один АЦП, на вход которого при помощи коммутаторов может быть подан сигнал с одного из 16 или 32 аналоговых каналов с внешнего разъема.

Разработаны методики и алгоритмы для определения диагностических признаков на участках локальных диагнозов временных характеристик диагностируемых систем. Алгоритмы в автоматическом режиме обеспечивают выполнение анализа характеристик целиком и выделяют на них отдельные участки с определением характерных признаков.

Для управления компьютерным диагностическим комплексом написана программа [5], реализующая механизм функционирования метода дифференциального диагностирования с алгоритмом обучения и самообучения.

При запуске программы диагностирования появляется окно, содержащее кнопки вызова всех основных функций программы (рис. 2):

1. Кнопка «открыть» реализует процесс открытия файлов с расширением asc (файл с расширением asc – это файл с характеристиками первичного и вторичного напряжений системы зажигания, записанный в процессе диагностирования – естественного функционирования). При ее активации появляется диалоговое окно с приглашением выбрать открываемый файл. При открытии файла в основном окне программы появляются осциллограммы первичного и вторичного напряжений цепи системы зажигания.

2. Кнопка «сохранить» активирует функцию сохранения открытого файла.

3. Кнопка «статистика» реализует функцию программы, позволяющей собирать информацию о диагностируемых объектах. При ее активации появляется окно с предложением выбрать модель, тип и др. параметры объекта.

4. Кнопки выбора цилиндров позволяют выводить на экран поцилиндровую развертку выбранного цилиндра с указанием основных диагностических признаков. Это осуществляется как для первичной, так и вторичной характеристики напряжения. В этом окне происходит выделение всех необходимых диагностических признаков на участках локальных диагнозов, показываются их числовые значения.

5. Кнопка «диагноз» реализует основную функцию программы по постановке диагноза. При ее активации запускается алгоритм определения диагностических признаков, их кодирования и сравнения. В результате появляется окно, в котором указывается диагноз объекта диагностирования с указанием перечня конкретных неисправностей.

Программа позволяет осуществлять просмотр любого выбранного участка осциллограмм за счет его укрупнения при помощи правой кнопки «мыши».

Основное отличие разработанного диагностического комплекса заключается в том, что программа, инсталлированная в любой персональный компьютер с небольшим количеством преобразующих элементов, позволяет не просто визуально наблюдать за процессами в диагностируемых объектах, но и анализировать и устанавливать диагноз. При этом диагноз устанавливается без участия оператора, что позволяет избежать

ошибок, связанных с его квалификацией и опытом, а стоимость такого оборудования значительно ниже стационарных мотор-тестеров.

Разработанный метод и реализующий его диагностический комплекс обладают более высокой достоверностью постановки диагноза по сравнению с существующими методами, ошибки первого рода снижены на 22 %, а ошибки второго рода – на 9 %.

#### Библиографический список

1. Терских, И.П. Функциональная диагностика машинно-тракторных агрегатов / И.П. Терских. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1987. – 312 с.
2. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Горелик, А.Л. Техническая диагностика / А.Л. Горелик, И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
4. Скрипкин, В.А. Методы распознавания / В.А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1977. – 222 с.
5. Мошкин, Н.И. Программа автоматического функционального и дифференциального диагностирования системы зажигания автомобильных двигателей / Н.И. Мошкин, Б.Б. Дашиев, Д.А. Базаров // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611275. – М., 2004.
6. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов по спец. «Автомоб. и автомоб. хоз-во» / В.Е. Ютт. – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н.К. КЛИМУШЕВ, *доц. каф технологии и машин лесозаготовок Ухтинского ГТУ*

Лесозаготовительное производство (ЛЗП) представляет собой многоплановую иерархическую эргатическую (человеко-машинную) сложную систему. Большинство технологических процессов ЛЗП осуществляется вне помещений в условиях непосредственного воздействия на людей и технику большого комплекса природно-климатических факторов, вследствие чего оно отличается значительной неравномерностью осуществления. Помимо воздействия природных факторов, неравномерность ЛЗП усиливается в связи с рассредоточенностью технологических операций на большой территории и разнородностью применяемых систем машин и технологических процессов на разных фазах производственного процесса.

Характер неравномерности необходимо учитывать при решении задач оптимизации ЛЗП, в частности задач управления запасами лесоматериалов. Причины неравномерности носят как случайный, так и систематический характер. Случайный характер неравномерности ЛЗП обусловлен как воздействием обширного комплекса причин естественной природы, включая природно-климатические, лесорастительные и грунтово-почвенные условия, так и человеческим фактором.

Систематические причины неравномерности ЛЗП в основном привносятся человеком и зависят от ресурсов, возможностей и условий организации ЛЗП. Их отличает возможность пред-

варительного учета и прогнозирования на стадиях планирования и оперативного управления производственным процессом.

Характерной особенностью ЛЗП является ярко выраженная сезонная неравномерность производственного процесса лесозаготовок, наличие межсезонных перерывов в работе лесовозных дорог и на лесосечных работах, невозможность организации транспортных перевозок в периоды весенней и осенней распутицы.

Основные проявления неравномерности ЛЗП можно объединить в три основные группы:

- 1) организационно-технологическая;
- 2) операционная;
- 3) сезонная.

Уровень организационно-технологической и сезонной неравномерностей выявляется преимущественно на основе исследования временных рядов, характеризующих реальные производственные процессы в течение достаточно длительного времени, а операционная неравномерность – на основе исследования единичных или отдельно выполняемых технологических и транспортных операций ЛЗП.

Операционная неравномерность характеризует единичные проявления случайной неравномерности отдельных технологических операций. Параметры операционной неравномерности имеют важное (зачастую определяющее) значение при решении задач оптимизации взаимодействия смежных машин и операций технологичес-

ких процессов и управления межоперационными (активными) запасами лесоматериалов.

Организационно-технологическая неравномерность является обобщающей характеристикой некоторой связанной совокупности многократно повторяющихся технологических операций случайной природы. Параметры организационно-технологической и сезонной неравномерности имеют важное (зачастую определяющее) значение при решении задач управления прежде всего резервными (пассивными) запасами лесоматериалов.

Оценка неравномерности ЛЗП предполагает организацию сбора фактических данных по выполнению отдельных операций и процессов ЛЗП в целом с последующей математико-статистической обработкой с целью установления зависимостей между параметрами, выявление тенденций, проверку гипотез о возможной аппроксимации эмпирических зависимостей теоретическими распределениями.

Организационно-технологические факторы и причины неравномерности носят в основном систематический, predetermined характер. К ним относятся разноуровневые режимы и интенсивности работ на смежных операциях технологического процесса в разные периоды года по технологическим, климатическим, лесохозяйственным, организационно-техническим и другим причинам, ввод или выбытие производственных мощностей, изменения организационного характера, например поступление или переводы рабочих с одних видов или участков работ на другие, изменение коэффициентов сменности или режимов работ и др. Организационно-технологические факторы представляют собой результат совместного действия всей совокупности операций того или иного технологического процесса. На систематический характер действия таких факторов накладываются случайные причины, вызывающие отклонения планируемых работ в ту или иную сторону. Действие причин организационно-технологического характера проявляется прежде всего через сменные, суточные, декадные, месячные объемы работ. Таким образом, организационно-технологическая неравномерность характеризует в общем всю совокупность операций того или иного технологического процесса в течение достаточно продолжительного периода времени: от смены до года.

Операционная неравномерность ЛЗП характеризует проявление отклонений параметров

от средних значений для отдельных операций технологических процессов. Она проявляется в параметрах выходящих потоков древесины, транспортных и технологических машин ЛЗП. Параметры потоков существенно сказываются на эффективности работы систем машин и технологических линий. Стохастичность операций, обусловленная воздействием большого комплекса причин случайной природы, создает неравномерность выполнения отдельных операций и снижает загрузку и производительность смежных машин. Для определения количественного воздействия случайной неравномерности работ на эффективность функционирования производственных систем необходимо знать параметры потоков.

Под параметрами потоков понимаются их интенсивность, тип распределения, дисперсия. Важными характеристиками потоков являются стационарность, последствие, непрерывность, дискретность, ординарность или их противоположности [2].

Параметры потоков определяются по результатам экспериментов в производственных условиях. При этом детально анализируются и устанавливаются все существенные факторы, определяющие исследуемый процесс. Полученные экспериментальные данные анализируются и подвергаются математической обработке для установления взаимозависимостей между параметрами и проверки гипотез о соответствии их теоретическим законам распределений.

ЛЗП отличает ярко выраженная сезонная неравномерность, особенно характерная для лесосечных работ и вывозки леса. Такая неравномерность имеет объективные причины. Осенне-зимний и весенне-летний периоды резко различаются по условиям осуществления ЛЗП. Зима создает благоприятные условия для заготовки и транспортировки древесины по снегу и льду, а лето дает возможность сплавливать лес и перевозить его по транспортным путям, свободным от снежно-ледяного покрытия.

Характер сезонной неравномерности ЛЗП в условиях работы в рыночной экономике имеет важное значение при организации лесозаготовок. Он является показателем взаимодействия природно-климатических условий лесозаготовок с организационно-техническими возможностями предприятия в условиях переменного спроса на лесоматериалы.

**Методы имитационного моделирования неравномерности ЛЗП**

Характер неравномерности ЛЗП	Вид случайного процесса	Метод имитационного моделирования
Операционная	Дискретный случайный процесс (дискретная случайная последовательность)	Моделирование по особым состояниям (со случайным шагом)
Организационно-технологическая	Непрерывный случайный процесс (непрерывная случайная последовательность)	Моделирование с постоянным шагом
Сезонная	Смешанный случайный процесс	Моделирование с постоянным шагом

Многочисленные исследования неравномерности ЛЗП всех видов выявляют сложный, часто неформализуемый характер производственных факторов и их взаимосвязей. Важнейшими характеристиками любой системы являются ее структура и процесс функционирования. Под структурой системы понимают устойчивую во времени совокупность взаимосвязей между ее элементами или компонентами. Структура системы может отражать самые различные взаимосвязи, в том числе и вложенность элементов одной системы в другую. В этом случае принято называть более мелкую, или вложенную систему подсистемой, а более крупную систему – метасистемой.

Процесс функционирования системы тесно связан с изменением свойств системы или отдельных ее элементов во времени. При этом важной характеристикой системы является ее состояние, под которым понимается совокупность свойств или признаков системы, которые в каждый момент времени отражают наиболее существенные особенности поведения системы. Процесс функционирования системы отражает поведение системы во времени и может быть представлен как последовательное изменение ее состояний. Совокупность признаков или условий изменения состояний системы называется переходом. Для системы с дискретными состояниями процесс функционирования может быть представлен в виде последовательности состояний с соответствующими переходами.

Эффективным методом моделирования сложных систем является имитационное моделирование, позволяющее оценить поведение моделируемой системы в динамике. Существует два метода реализации имитационных моделей, соответствующие разным видам моделируемых процессов: с постоянным шагом и по особым состояниям (со случайным шагом).

Неравномерность ЛЗП можно рассматривать как случайный процесс, разворачивающийся

во времени. При этом операционную неравномерность можно рассматривать как случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным или дискретным временем. Организационно-технологическую неравномерность ЛЗП можно рассматривать как случайный процесс с непрерывными состояниями и дискретным или непрерывным временем. Сезонная неравномерность является частным случаем организационно-технологической неравномерности, обладающей, однако, такими отличиями, как периодичность проявления, и значительными различиями в соотношениях интенсивностей работ на смежных фазах производственного процесса в эти периоды. Она может быть представлена как случайный процесс с непрерывными и/или дискретными состояниями.

Характер случайного процесса определяет выбор метода моделирования: операционная неравномерность может быть представлена марковской или полумарковской цепью, и, следовательно, к ней применимы методы теории массового обслуживания, а организационно-технологическая и сезонная неравномерности таким свойством не обладают. Соответственно, методы имитационного моделирования неравномерности ЛЗП также различаются. Операционную неравномерность уместно представить в виде имитационной модели со случайным шагом (по особым состояниям), а организационно-технологическую неравномерность – в виде имитационной модели с постоянным шагом. Рекомендуемые методы имитационного моделирования неравномерности ЛЗП представлены в таблице.

**Библиографический список**

1. Андреев, В.Н. Эти замечательные цепи / В.Н. Андреев, А.Я. Иоффе. – М.: Знание, 1987. – 176 с.
2. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ С ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

В.И. АЗАРОВ, *проф. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ, д-р техн. наук*,  
Г.Н. КОНОНОВ, *проф. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук*,  
В.С. ДРОЗДОВА, *асп. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ*

Развитие целлюлозно-бумажной промышленности характеризуется не только увеличением общего объема производимой продукции, расширением ассортимента выпускаемых материалов, но и улучшением свойств уже имеющихся целлюлозосодержащих материалов. Изменения свойств целлюлозосодержащих материалов достигается путем обработки и переработки бумаги и картона. [1]

К химической технологии переработки бумаги и картона относится получение целлюлозных композиционных материалов, состоящих из целлюлозных (бумага, картон) и нецеллюлозных (обычно синтетических полимеров) компонентов.

Создание новых материалов на основе бумаги и картона связано с применением различных физико-химических методов обработки бумаги-основы с последующей переработкой в результате прогрева (сушки) прессования в другой вид продукции.

При этом улучшаются печатно-технические свойства в совокупности с внешним видом бумаги и картона; улучшается паро-, газо-, водо-, жиро- и ароматонепроницаемость, особенно при изготовлении упаковочных видов продукции, а также способность к герметизации упаковки путем теплового или холодного склеивания; повышается устойчивость против действия химикатов, снижается воспламеняемость, биологическая устойчивость; придается свето- и теплочувствительность, а также электропроводность; развиваются адгезионные свойства. [2]

Среди перспективных материалов, используемых в настоящее время для поверхностной обработки целлюлозосодержащих материалов, можно отметить модифицированные карбамидоформальдегидные олигомеры, которые доступны, экономически выгодны и технологически приемлемы.

Для оценки свойств бумаги, определяемых для каждого вида соответствующим ГОСТ, ее подвергают ряду испытаний. Испытание бумаги условно делят на три основные группы: механические испытания, определение физических свойств и специальные испытания. В группу механических испытаний входят такие, как опреде-

ление сопротивления бумаги разрыву (разрывной длины), излому, продавливанию, раздиранию и др. Физические свойства бумаги определяются следующими показателями: толщиной, массой  $1 \text{ м}^2$ , объемной массой, гладкостью, белизной и др. Группа специальных испытаний включает определение воздухопроницаемости, скорости фильтрации, впитываемости, степени проклейки и др.

Целью проведенной работы было изучение влияния поверхностной обработки бумаг растворами модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров [3] на их физико-механические свойства. Проводилось определение влагопрочности и разрывной длины бумаг, поверхностно обработанных растворами карбамидоформальдегидных олигомеров, состав которых приведен в таблицах 1 и 2.

В качестве бумаги-основы использовалась бумага:

– массой  $95 \text{ г/м}^2$ ;

– состав по волокну: Ц,СФИ хв.бел. – 100 % (степень помола –  $35^\circ \text{ШР}$ );

– зольность – 13 %;

– наполнитель – мел.

На поверхность вальцевым методом наносился раствор модифицированного олигомера, после чего она высушивалась до постоянной массы.

Методики испытаний:

1. Влагопрочность. Метод основан на определении величины разрушающей силы и удлинения до момента разрыва бумаги во влажном состоянии. Для испытаний применялась вертикальная разрывная машина типа РМБ-30-2М. Перед испытанием бумага вымачивалась в дистиллированной воде определенное время (10 мин). Испытание проводилось в продольном и поперечном направлениях. Ширина полосок – 15 мм, длина – 180 мм.

2. Разрывная длина. Метод основан на определении величины разрушающей силы и удлинения до момента разрыва. Для испытаний применялась вертикальная разрывная машина типа РМБ-30-2М. Испытание проводилось в продоль-

ном и поперечном направлениях. Ширина полосок – 15 мм, длина – 180 мм. Разрывная длина вычислялась по формуле

$$L = (l_0 \cdot P) / m \text{ или } L = (P \cdot 10^6) / (b \cdot m_1),$$

где  $l_0$  – исходная длина рабочей части полоски, мм;

$m$  – масса рабочей части полоски, г;

$b$  – ширина полоски, мм;

$m_1$  – масса 1 м<sup>2</sup>, г;

$P$  – разрушающее усилие в кгс.

Результаты испытаний приведены в табл.

3. и на рис. 1, 2.

Т а б л и ц а 1

**Карбамидоформальдегидные олигомеры, модифицированные NaКМЦ, меламином**

№ КФО	Карбамид			Формальдегид			Меламин			NaКМЦ		Содержание сухого остатка, %
	масса, г	% (от с.ост.)	моль	масса, г	% (от с.ост.)	моль	масса, г	% (от с.ост.)	моль	масса, г	% (от с.ост.)	
1	15	36,6	0,3	20	48,8	0,6	5	12,2	0,04	1	2,4	55
2	15	35,7	0,3	20	47,6	0,6	5	11,9	0,04	2	4,8	47
3	15	34,9	0,3	20	46,5	0,6	5	11,6	0,04	3	7,0	47
4	15	34,1	0,3	20	45,5	0,6	5	11,4	0,04	4	9,0	48

Т а б л и ц а 2

**Карбамидоформальдегидные олигомеры, модифицированные NaКМЦ**

№ КФО	Карбамид			Формальдегид			NaКМЦ		Содержание сухого остатка, %
	Масса, г	% (от с.ост.)	моль	Масса, г	% (от с.ост.)	моль	Масса, г	% (от с.ост.)	
5	15	55,6	0,25	12	44,4	0,4	0	0	46
6	15	54,4	0,25	12	43,6	0,4	0,55	2	47
7	15	53,3	0,25	12	42,7	0,4	1,125	4	48
8	15	52,2	0,25	12	41,8	0,4	1,723	6	48
9	15	51,1	0,25	12	40,9	0,4	2,35	8	49

Т а б л и ц а 3

**Результаты испытаний бумаги, обработанной КФО**

КФО	Концентрация смолы, %	Влагопрочность, %	Разрушающее усилие, Н	Разрывная длина, м
1	10	58,6	60,8	3150
	20	60,4	78,1	4800
	30	58,0	55,3	3300
2	10	58,0	64,5	3650
	20	54,7	79,0	4600
	30	60,4	56,0	3250
3	5	49,6	35,0	3700
	10	52,0	65,3	4250
	20	50,4	69,3	4450
	30	63,4	52,8	3100
4	10	37,0	63,5	3950
	20	44,5	69,5	3900
	30	65,5	51,0	3000
5	10	79,6	34,8	2100
	20	46,8	79,3	4850
	30	55,9	70,0	4100
6(2 %)	10	38,9	79,0	4600
	20	41,0	81,8	4650
	30	48,7	77,0	4250
7	10	36,3	76,8	4550
	20	45,5	76,9	4200
	30	56,1	61,2	3700
8	10	32,8	70,1	4400
	20	48,8	61,7	3650
	30	61,9	54,1	3250
9 (8 %)	10	29,8	68,8	4350
	20	53,0	54,0	3200
	30	69,3	45,3	2750
Бумага без обработки		8,5	65,0	4200

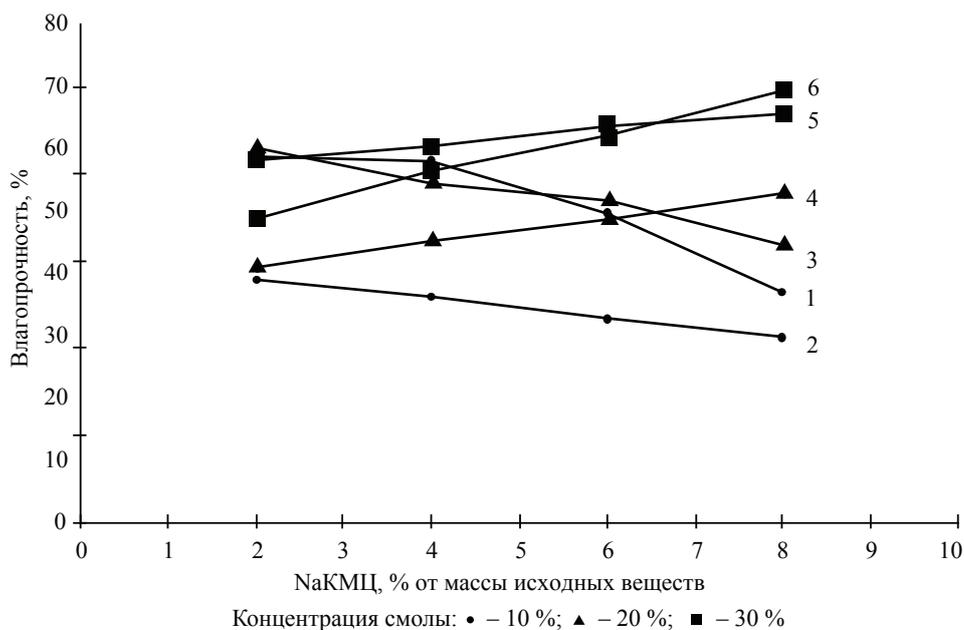


Рис. 1. Зависимость влагопрочности бумаги от NaKМЦ: 1, 3, 5 – КФО, модифицированные NaKМЦ и меламинам; 2, 4, 6 – КФО, модифицированные NaKМЦ

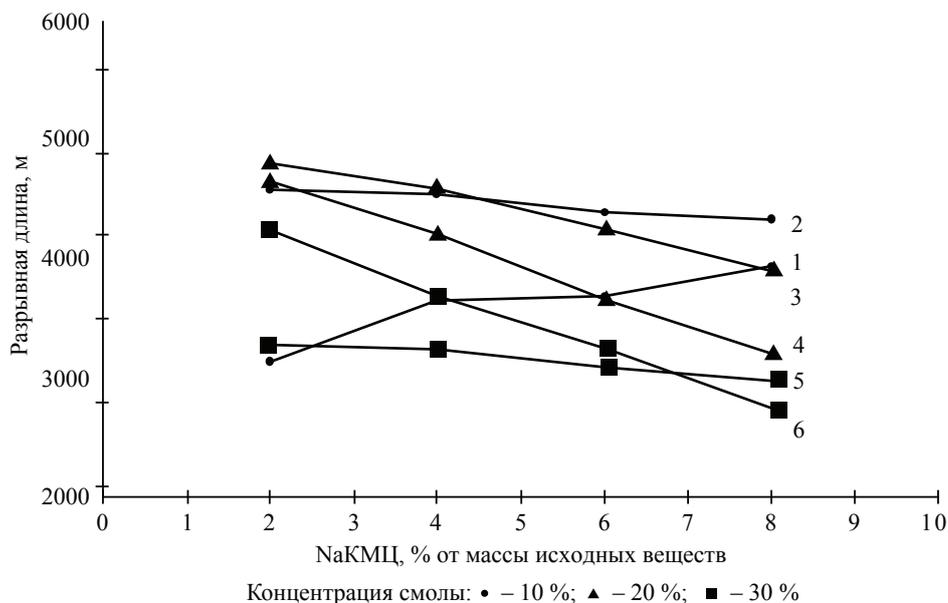


Рис. 2. Зависимость разрывной длины бумаги от NaKМЦ: 1, 3, 5 – КФО, модифицированные NaKМЦ и меламинам; 2, 4, 6 – КФО, модифицированные NaKМЦ.

Как видно из представленных зависимостей, при концентрации смолы 10 % все КФО (модифицированные меламинам и NaKМЦ; NaKМЦ) при увеличении содержания NaKМЦ с 2 % до 8 % приводят к снижению влагопрочности бумаги (рис. 1). Лучшие показатели показали КФО, модифицированные меламинам и NaKМЦ (58,6–49,6), худшие показатели у КФО, модифицированных NaKМЦ (38,9–29,8). Видимо, в присутствии одновременно меламина и NaKМЦ происходит химическое взаимодействие предконденсатов меламинаформальдегидной смолы с NaKМЦ по доступным гидроксилам, и следствием этого яв-

ляется повышенная влагопрочность. Падение влагопрочности бумаги можно объяснить тем, что NaKМЦ является гидрофильным компонентом. КФО, модифицированные меламинам и NaKМЦ, с увеличением содержания NaKМЦ с 2 % до 8 % повышают разрывную длину бумаги (рис. 2). КФО, модифицированные NaKМЦ снижают разрывную длину. Избыточное количество NaKМЦ, не вступившее в реакцию с метилольными производными карбамида в отсутствие меламина, несколько снижает показатель разрывной длины по причине отсутствия глубокого взаимодействия целлюлозной матрицы с метилольными группа-

ми, израсходованными на реакции с NaKMЦ. Меламин же, взаимодействуя с NaKMЦ, снижает ее негативное влияние.

При концентрации смолы 20 % КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ, при увеличении содержания NaKЦМ с 2 % до 8 % приводят к снижению влагопрочности бумаги (60,4–44,5) (рис. 1). КФО, модифицированные NaKЦМ, наоборот, повышают влагопрочность с увеличением содержания NaKЦМ (41,0–53,0). Увеличение концентрации проклеивающего состава приводит к увеличению концентрации избыточного меламина, который является гидрофильным веществом и снижает влагопрочность бумаги в дополнение к NaKMЦ (см. выше). В КФО, модифицированных NaKMЦ, ее увеличение, видимо, приводит к образованию дополнительных сшивок с метилольными производными, давая гидрофобные структуры. КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ; NaKЦМ, с увеличением содержания NaKЦМ с 2 % до 8 % снижают разрывную длину бумаги (рис. 2). КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ, показали наивысший результат (4800–4250). Снижение разрывной длины у бумаги, обработанной КФО, модифицированными NaKЦМ, более резкое (4650–3200). Меламин и NaKMЦ, при увеличении концентрации смолы, в большей степени реагируют с метилольными группами КФО, что препятствует глубокому взаимодействию их с целлюлозной матрицей и снижает разрывную длину.

При концентрации смолы 30 % КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ, повышают влагопрочность с увеличением содержания NaKЦМ (58,0–65,5; 48,7–69,3) (рис. 1). Причем при обработке последними влагопрочность бумаги возрастает более резко. Видимо в КФО, модифицированных меламинами и NaKMЦ; NaKMЦ, увеличение содержания NaKMЦ приводит к образованию дополнительных сшивок с метилольными производными. КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ; NaKЦМ, с увеличением содержания NaKЦМ с 2 % до 8 % снижают разрывную длину бумаги (рис. 2). При этом КФО, модифицированные меламинами и NaKЦМ, показали наиболее плавный результат снижения (3300–3000). Снижение разрывной длины у бумаги, обработанной КФО, модифицированными NaKЦМ, более резкое (4250–2750). Объяснить это можно, видимо, так же, как и для концентрации смолы 20 %.

#### Библиографический список

1. Аким, Э.Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки и переработки бумаги и картона) / Э.Л. Аким. – М.: Лесная пром-сть, 1979.
2. Кречетова, С.П. Материалы для обработки и переработки бумаги и картона / С.П. Кречетова. – М.: Лесная пром-ть, 1990.
3. Исследование влияния технологических параметров на свойства модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров / В.И. Азаров, Г.Н. Кононов, В.С. Нештенко // Технология и оборудование для переработки древесины. – М.: МГУЛ, 2005.

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КАТИОННЫХ КРАХМАЛОВ НА СВОЙСТВА БУМАЖНО-КАРТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ

С.М. ТАРАСОВ, доц. каф. химической технологии древесины и полимеров МГУЛ, канд. техн. наук

Среди современных химических вспомогательных средств (ХВС) для производства бумажно-картонных материалов одна из ведущих ролей принадлежит катионным крахмалам. Они зарекомендовали себя как упрочняющие агенты, а также как средства удержания и в некоторой степени – как флокулянты и фиксаторы.

Ассортимент катионных крахмалов на современном российском рынке достаточно широк, причем, несмотря на появление на нем образцов отечественного производства, ведущая роль до сих пор принадлежит импортным катион-

ным крахмалам. Поэтому оценка технологических свойств этих крахмалов является достаточно актуальной задачей.

Исследования, результаты которых изложены ниже, были выполнены применительно к производству элементов гофрокартона – картона-лайнера и бумаги для гофрирования (гофробумаги) из 100 % вторичного волокнистого сырья (макулатуры).

Для исследований были выбраны следующие марки катионного крахмала, предназначенного для введения в волокнистую массу:

**Физико-механические показатели гофробумаги и картона-лайнера, изготовленных в лабораторных условиях**

Вид катионного крахмала, вводимого в массу	Поверхностная обработка крахмалом «Emcat КОС 1830»	Физико-механические показатели				
		Поверхностная впитываемость, г/м <sup>2</sup>	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление разрыву, Н	Прочность во влажном состоянии, Н	Сопротивление сжатию кольца, Н
картон-лайнер						
Без крахмала	–	40	260	80	2	210
	+	31	390	100	3	270
«Emcat CF/T»	–	32	350	94	3	250
	+	28	440	108	4	300
«ECA-CS»	–	33	350	93	3	240
	+	29	440	107	4	300
«Mylbond 143»	–	32	340	95	3	250
	+	27	430	106	4	300
«Hi-Cat 5163A»	–	34	340	95	3	250
	+	30	440	108	4	300
гофробумага						
Без крахмала	–	88	200	68	2	120
	+	81	250	82	3	150
«Emcat CF/T»	–	80	240	78	3	145
	+	75	300	89	3	166
«ECA-CS»	–	79	230	77	3	144
	+	76	290	88	3	165
«Mylbond 143»	–	81	240	79	3	148
	+	75	280	88	3	166
«Hi-Cat 5163A»	–	80	230	78	3	145
	+	76	290	87	3	162

1. «Emcat CF/T», С.З. = 0,025–0,030;
2. «ECA-CS», С.З. = 0,030–0,040;
3. «Mylbond 143», С.З. ≈ 0,043;
4. «Hi-Cat 5163A», С.З. = 0,035–0,040;
5. «Emcat КОС 1830», С.З. ≈ 0,050.

Образцы 1–4 использовались для введения в волокнистую массу, образец 5 – для обработки бумаги и картона в клеильном прессе.

Исследования проводились в Московском государственном университете леса, Центральном научно-исследовательском институте бумаги, на Караваевской бумажной фабрике и на Полотнозаводской бумажной фабрике как в форме лабораторных, так и промышленных испытаний.

Композиция картона по волокну – смесь макулатуры марок МС–6 и МС–7, масса – 150 г/м<sup>2</sup>. Степень помола волокнистой массы перед отливом составляла 26 ± 1 °ШР. Схема введения ХВС была выбрана классическая с использованием стандартной канифольной проклейки. Порядок введения ХВС в волокнистую массу (в пересчете на абсолютно сухое вещество) был следующий: катионный крахмал – 8 кг/т; канифольный клей-паста – 6 кг/т; сульфат алюминия – 30 кг/т; полиакриламид катионный – 0,1 кг/т, рН волокнистой массы при

отливе – 6,8–7,0. Гофробумага изготавливалась из того же волокнистого сырья, имела массу 125 г/м<sup>2</sup>, порядок введения ХВС в волокнистую массу для ее изготовления был следующий: катионный крахмал – 4 кг/т; канифольный клей-паста – 2 кг/т; сульфат алюминия – 20 кг/т; полиакриламид катионный – 0,1 кг/т. рН = 6,8–7,0.

В табл. 1 приведены результаты испытаний физико-механических свойств гофробумаги и картона, изготовленных в лабораторных условиях. Поверхностная обработка картона крахмалом «Emcat КОС 1830» производилась на лабораторном клеильном прессе с расходом 30 кг/т для картона и 20 кг/т для гофробумаги. Из представленных данных видно, что катионные крахмалы от разных производителей показали примерно одинаковую и достаточно высокую эффективность в качестве материалов для повышения всех основных эксплуатационных характеристик бумажно-картонных материалов. Как и следовало ожидать, поверхностная обработка катионным крахмалом существенно повышает их прочность и приближает ее к прочности аналогичных материалов из свежего волокна (при правильном ведении процесса размолла макулатурной массы).

Т а б л и ц а 2

**Физико-механические показатели промышленных образцов картона-лайнера**

Вид катионного крахмала	№ измерения	Физико-механические показатели				
		Поверхностная впитываемость, г/м <sup>2</sup>	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление разрыву, Н	Прочность во влажном состоянии, Н	Сопротивление сжатию кольца, Н
«Mylbond 143»	1	36	310	87	3	240
	2	34	300	84	3	230
	3	35	320	88	3	250
	4	34	330	88	3	250
	5	34	330	89	4	260
	6	33	320	87	3	250
	7	36	310	86	2	240
	8	35	310	86	2	240
	9	36	320	87	3	250
	10	34	310	86	4	240
	Ср. знач.	34,7	316,0	86,8	3,0	245,0
Emcat CF/T	1	32	310	86	3	230
	2	34	320	88	3	240
	3	34	320	89	2	235
	4	35	310	85	3	230
	5	33	330	88	4	250
	6	36	330	87	3	260
	7	35	320	86	3	245
	8	34	310	84	3	240
	9	35	320	86	4	250
	10	36	300	83	3	230
	Ср. знач.	34,4	317,0	86,2	3,1	241,0

Т а б л и ц а 3

**Физико-механические показатели промышленных образцов гофробумаги**

Вид катионного крахмала	№ измерения	Физико-механические показатели				
		Поверхностная впитываемость, г/м <sup>2</sup>	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление разрыву, Н	Прочность во влажном состоянии, Н	Сопротивление сжатию кольца, Н
«Mylbond 143»	1	76	260	84	2	143
	2	74	250	88	3	147
	3	73	240	89	3	145
	4	75	240	88	3	146
	5	75	250	87	3	144
	6	76	230	86	2	144
	7	74	240	85	3	145
	8	77	250	85	2	146
	9	76	240	87	3	147
	10	74	250	88	3	145
	Ср. знач.	75,0	245,0	86,7	2,7	145,2
Emcat CF/T	1	78	240	84	2	148
	2	77	250	85	3	147
	3	76	250	83	2	148
	4	76	230	84	3	145
	5	77	250	87	3	144
	6	75	260	87	3	147
	7	76	240	86	3	146
	8	75	220	90	3	145
	9	77	250	84	3	146
	10	78	260	85	3	147
	Ср. знач.	76,5	245,0	85,5	2,8	146,3

Некоторые из испытанных в лаборатории катионных крахмалов в дальнейшем прошли проверку в промышленных условиях. Так, «Emcat CF/T» прошел испытания на Караваевской, а «Mylbond 143» – на Полотнянозаводской бумажной фабрике. В дальнейшем эти виды крахмалов длительное время использовались на данных предприятиях для изготовления крупных промышленных партий бумаги и картона.

Расходы ХВС и условия при промышленных испытаниях были те же, что и при лабораторных, указанных выше. Физико-механические показатели бумаги и картона измерялись и фиксировались каждые 40 мин в испытательных лабораториях бумажного цеха. По 10 измерениям были вычислены средние значения (табл. 2, 3).

Результаты опытно-промышленных испытаний свидетельствуют о том, что существенных отличий эффективности крахмалов «Emcat CF/T» и «Mylbond 143» не наблюдается. Значения полученных качественных показателей гофробумаги и картона-лайнера сопоставимы и различаются незначительно, причем различия эти укладываются в возможную погрешность измерений.

Из полученных данных можно заключить, что большинство распространенных импортных

образцов катионных крахмалов для бумажной промышленности в целом обладают комплексом свойств, необходимых для повышения основных физико-механических показателей бумажно-картонных материалов. При этом катионные крахмалы разных производителей, предназначенные для одних и тех же целей, технология производства которых является полностью отработанной в настоящее время, различаются между собой незначительно, особенно если это касается комплекса свойств, которые они придают бумаге или картону. Поэтому из исследованных крахмалов для производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья принципиально подходит любой, а при выборе того или иного его вида необходимо учитывать его цену и конкретные производственные условия. Например, при высокой замкнутости цикла водооборота лучше использовать крахмал с более высоким катионным зарядом из-за более высокой катионной потребности волокнистой массы. При достаточной чистоте технологического потока больше подходит крахмал с низким катионным зарядом и высокой молекулярной массой. В любом случае окончательное решение по использованию катионного крахмала должно приниматься непосредственно на производстве.

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ВЕСОВОГО ПОРЦИОННОГО ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ

В.М. РЯБКОВ, доц. каф. управления автоматизированными производствами МГУЛ, канд. техн. наук,  
Д.С. СМИРНОВ, асп. каф. управления автоматизированными производствами МГУЛ

Приготовление связующего заключается в подготовке рабочих растворов смолы и отвердителя, дозирования компонентов и их смешивания.

Наряду с установками непрерывного объемного дозирования в плитном производстве используются установки периодического действия с весовым дозированием [1]. В такой установке емкость с мешалкой установлена на платформе автоматических весов. В соответствии с выбранным рецептом и заданными массами в емкость закачивается смола, отвердитель, вода и другие компоненты. Полученное в результате перемешивания связующее дозируют в смеси или покомпонентно. При порционном дозировании одной из важнейших задач является снижение систематической и случайной составляющей погрешности

дозирования и взвешивания. Систематическая погрешность зависит от конструктивных особенностей платформенных весов, а случайная составляющая погрешности от длительности импульсов и методов дозирования.

Систематическую погрешность взвешивания платформенных весов можно представить как функцию от показаний весов  $X$

$$\alpha = \alpha(x), \quad (1)$$

где  $x$  – показания весов.

При этом следует различать два варианта:

1. Опорожнение грузоприемного устройства после взвешивания каждого компонента. Тогда погрешность взвешивания дозы  $\beta_i$  будет

$$\beta_i = \alpha(x_i) / \bar{x}_i, \quad (2)$$

где  $\bar{x}_i$  – заданный вес дозы.

2. Опорожнение грузоприемного устройства после взвешивания всех доз. Тогда погрешность взвешивания  $\beta_i$  будет

$$\beta_i = \alpha(\Sigma x_i) / \bar{x}_i, \quad (3)$$

где  $\Sigma x_i$  – вес всех доз, находящихся на весах.

Теоретический анализ функции погрешности (1) на основе конструктивных особенностей платформенных квадратных весов показал, что эта функция непрерывная, дифференцируемая, монотонная и достигает максимальных значений на концах интервала  $(0, X_{\max})$ ,  $X_{\max}$  – наибольшее значение весов.

Таким образом, поиск метода взвешивания  $n_{\text{доз}}$  заключается в следующем: необходимо минимизировать функцию

$$\sum_i^n \sum_j^n \beta_{ij} x_{ij}, \quad (4)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ; так чтобы

$$0 \leq |\beta_{ij}| \leq \beta_0, \quad (5)$$

известно, что

$$\beta_{ij} = \beta(\sum_1^n x_{ij}); \quad (6) \text{ и } x_i > 0. \quad (7)$$

Под  $j$  понимается порядковый номер при взвешивании  $i$ -ой дозы.  $\beta_{ij}$  – означает относительную погрешность взвешивания  $i$ -ой дозы, если она взвешивается  $j$ -й. Из множества методов многокомпонентного порционного дозирования наиболее целесообразны два: с тарированием весов после каждого взвешивания и без тарирования. Оба метода реализуются использованием необходимых логических алгоритмов в системе управления весов.

Если упорядочить дозы рецепта следующим образом

$$x_1 > x_2 > \dots > x_i > \dots > x_n, \quad (8)$$

то в соответствии с (2) и (3) наибольшую сравнительную погрешность будет иметь доза  $X_n$ .

Тем самым решение управления сводится к поиску минимума максимальной относительной погрешности взвешивания.

При выборе порядка взвешивания имеет значение способ выражения функции погрешности (1). Порядок взвешивания при линейном выражении функции погрешности с тарированием весов после каждого взвешивания будет

$$\alpha(x) = -ax + b \quad (9)$$

иметь вид

$$x_{21}, x_{22}, \dots, x_{kn}, x_{(k+1)(k+1)}, x_{n(k+2)}, \dots, x_{(k+2)n}. \quad (10)$$

В порядке взвешивания первая цифра индекса означает номер дозы в соответствии с (8), а вторая цифра – ее место в последовательности взвешивания.

Принято, что

$$\sum_1^k x_i < x_0 \text{ и } \sum_1^{k+1} x_i \geq x_0,$$

где  $X_0$  – точка пересечения функции (1) с осью  $X$ .

Всякая перестановка любой дозы в порядке взвешивания (10) влечет за собой увеличение абсолютного значения ее относительной погрешности взвешивания, что является доказательством оптимальности порядка (10) по критерию наименьшей погрешности взвешивания.

Порядок взвешивания (10) с тарированием весов после каждого взвешивания не изменится, если функция погрешности (1) будет представлена нелинейной зависимостью.

В случае взвешивания с накоплением и без тарирования весов после каждого взвешивания имеем следующие зависимости:

– погрешность после каждого взвешивания  $i$ -ой дозы, если она взвешивается  $j$ -ой, будет в случае линейного выражения (9) для  $\alpha(x)$

$$\alpha_{ij} = -a \sum_1^j x_i + b. \quad (11)$$

– погрешность взвешивания  $(i+1)$ -ой дозы, если она взвешивается  $(j+1)$ -й будет

$$\alpha_{(i+1)(j+1)} = -a \sum_1^{j+1} x_i + b - a[\sum_1^j x_i + x_{i+1}] + b. \quad (12)$$

Поскольку рассматриваемый метод взвешивания не предусматривает тарирование весов после набора каждого компонента, то истинная погрешность взвешивания  $(i+1)$ -й дозы определяется как разность двух погрешностей (11) и (12), которая после преобразования принимает вид

$$\bar{\alpha}_{(i+1)(j+1)} = ax_{i+1}. \quad (13)$$

Относительная погрешность  $(i+1)$ -й дозы будет

$$\beta_{(i+1)(j+1)} = \frac{\bar{\alpha}_{(i+1)(j+1)}}{x_{i+1}} = a. \quad (14)$$

Из уравнения (14) следует, если функция погрешности взвешивания линейная, то относительная погрешность взвешивания любой дозы постоянна, следовательно не зависит от порядка взвешивания.

Из этого же уравнения следует, что при представлении функции погрешности в линейной форме поиск порядка взвешивания теряет смысл. Исключение составляет доза наибольшей массы, которая, очевидно, должна взвешиваться первой.

Относительная погрешность взвешивания  $(i+1)$ -й дозы, если она взвешивается

(j + 1)-й без тарирования, определяется из выражения

$$\beta_{(i+1)(j+1)} = \frac{\alpha(\sum_1^j x_i - \alpha \sum_1^j x_i + x_{i+1})}{x_{i+1}}. \quad (15)$$

Если дозы имеют малые массы, то их погрешность взвешивания можно искать по выражению

$$\beta_{(i+1)(j+1)} = \frac{d\alpha}{dx} \Big|_{x = \sum_1^j x_i}. \quad (16)$$

Из (15) и (16) следует, что для нахождения наилучшего порядка взвешивания необходимо знать функцию погрешности данного весоизмерительного устройства. Критериями для поиска порядка взвешивания могут служить уравнения (15) и (16). Как и при линейном представлении функции погрешности, первой должна взвешиваться доза наибольшей массы.

Теоретически довольно трудно решить, какой из полученных порядков взвешивания и при каком способе приближения функции даст наименьшие погрешности взвешивания. На этот вопрос может ответить только эксперимент.

Заданная точность каждой дозы может быть обеспечена на разных участках шкалы с различной вероятностью ввиду непостоянной по величине шкалы погрешности.

Точность выполнения выбранного порядка дозирования в целом обеспечивается определенной для каждого порядка взвешивания вероятностью. Величина вероятности выполнения заданной точности процесса может служить оценкой правильности выбора последовательности взвешивания доз.

Следовательно, для получения максимальной вероятности заданной точности процесса дозирования необходимо определить порядок взвешивания с учетом величины доз, допустимых погрешностей дозирования, систематической и случайной погрешностей принятого весоизмерительного устройства.

Вероятность попадания нормально распределенной погрешности взвешивания  $\alpha_{xi}$  в заданный интервал определяется следующим выражением

$$P_{i1}(-\beta_{0i}x_i < \alpha_{xi} < \beta_{0i}x_i) = \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{\beta_{0i}x_i - \alpha_{xi}}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{\beta_{0i}x_i + \alpha_{xi}}{\sigma_1}\right) \right], \quad (17)$$

где  $\beta_{0i}$  – заданная относительная погрешность взвешивания i-ой дозы;

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины  $\alpha_x$ .

На основании формулы (17) может быть найдена вероятность выполнения заданной точности при поступлении дозы в весоизмерительное устройство второй

$$P_{(i+k)2}(-\beta_{i+k}x_{i+k} < \alpha_{i+k} < \beta_{i+k}x_{i+k}) = \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{\beta_{i+k}x_{i+k} - \alpha_{i+k}}{\sigma_2}\right) + \Phi\left(\frac{\beta_{i+k}x_{i+k} + \alpha_{i+k}}{\sigma_2}\right) \right].$$

Общая вероятность получения заданной точности всего технологического процесса дозирования определяется по теореме умножения вероятностей отдельных доз

$$P = \prod_{i=1}^n [P(-\beta_{0i}x_i < \alpha < \beta_{0i}x_i)] = \frac{1}{2} \prod_{i=1}^n \left[ \Phi\left(\frac{\beta_{0i}x_i - \alpha_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) + \Phi\left(\frac{\beta_{0i}x_i + \alpha_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \right]. \quad (18)$$

Формула (18) может быть применена, как показал анализ, только в случае взаимной независимости случайных погрешностей взвешивания доз при выбранном порядке. В противном случае дисперсию случайной погрешности взвешивания любой дозы мы будем искать из выражения

$$D_{i+k} = D_{i,k}(\alpha_{сл}, x_i, x_{i+k}) + D_1(\alpha_{сл} x_i) \pm 2cov(\alpha_{сл} x_i, i + k\alpha_{сл} x_i),$$

где  $2cov(\alpha_{сл} x_i, i + k\alpha_{сл} x_i)$  – ковариация случайных величин предыдущей и последующей погрешности взвешивания доз.

Таким образом, можно видеть, что взвешивание с накоплением при многокомпонентном дозировании целесообразно применять в тех случаях, когда

- массы компонентов различны и имеется большая разница наибольшей и наименьшей масс;
- весоизмерительное устройство имеет систематическую погрешность взвешивания, зависимую от массы взвешиваемого груза;
- необходимо получить наилучшую точность взвешивания.

### Библиографический список

1. Вольнский, В.Н. Технология стружечных и волокнистых древесных плит: учебное пособие для вузов / В.Н. Вольнский. – Таллин; Дезидерата, 2004. – 192 с.
2. Рябов, В.М. Анализ методов и средств автоматического дозирования компонентов шихты и ее дозировки в формы в производстве фибролитовых плит / В.М. Рябов: сб. науч. тр. Моск. лесотехн. ин-т. – М.: МЛТИ. – Вып. 62. – 1975. – С. 33–47.

## О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р техн. наук*

Свойства древесно-цементного материала, сочетающие такие качества, как высокая прочность, низкая деформированность, малая средняя плотность, трещиностойкость и другие, определяются его структурой [1].

Прогнозирование физико-механических свойств древесно-цементного композита позволяет свести к минимуму экспериментальные работы по выбору оптимального состава компонентов и геометрических параметров структуры. Для этого модель механической смеси древесно-цементного композита представляется как многокомпонентное образование, на границе компонентов которого выполняется условие непрерывности усилий и перемещений. Если свойства каждого компонента известны, то, пользуясь уравнениями механики деформируемого твердого тела, можно в принципе определить распределение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале и его эффективные или макроскопические свойства. Однако практическое решение указанной задачи связано с серьезными математическими трудностями.

Древесно-цементный композит имеет случайную, или стохастическую структуру, характерными особенностями которой являются дискретность включений частиц древесного заполнителя, цементного камня и пор, их хаотичное расположение в пространстве, а также случайная форма. Поэтому для адекватного описания напряженно-деформированного состояния в древесно-цементном материале необходимо привлекать методы теории случайных функций.

Определить эффективные линейно-упругие постоянные древесно-цементного композита с учетом геометрических параметров, формы поперечного сечения органического заполнителя и его расположения позволяет применение метода условных моментов.

Схемы механических моделей структуры древесно-цементного материала представлены на рисунке.

**Исходные представления.** Точное описание механического поведения упругого тела из древесно-цементного материала в линейной постановке сводится к уравнениям сохранения импульса

$$\sigma_{ij,j} + F_i = \rho \ddot{u}_i; \quad (1)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn}; \quad (2)$$

и Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} \equiv 1/2(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (3)$$

где  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений, Па;

$\varepsilon_{ij}$  – тензор деформаций;

$\lambda_{ijmn}$  – тензор упругих модулей четвертого ранга, Па;

$F_i$  – вектор объемных сил, Н/м<sup>3</sup>;

$u_i$  – вектор перемещений;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Уравнения (1–3) и входящие в них параметры относятся к микроточкам, т.е. элементарным объемам и площадкам, размеры которых значительно меньше характерных размеров структурных параметров.

Характеристики  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\rho$  древесно-цементного материала являются регулярными или случайными функциями координат в зависимости от характера расположения структурных элементов. При этом внутренняя энергия в микроточке определяется выражением

$$U = 1/2 \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} = 1/2 \lambda_{ijmn} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{mn} = 1/2 s_{ijmn} \sigma_{ij} \sigma_{mn}, \quad (4)$$

где  $s_{ijmn} = \lambda_{ijmn}^{-1}$  – тензор упругих податливостей.

Решение уравнений (1–3) в общем случае связано с серьезными математическими трудностями. Однако для практической задачи, в которой изучается изменение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале на расстояниях, значительно превышающих размеры структурных элементов, но достаточно малых в сравнении с размерами тела, можно ввести макронапряжения, макродеформации и макроперемещения, т.е. средние по элементарным макрообъемам и макроплощадкам от соответствующих параметров. При этом исходим из того, что размеры элементарных макрообъемов и макроплощадок значительно больше размеров структурных элементов и их можно рассматривать как микроточки. Тогда соответствующие уравнения относительно макроскопических параметров имеют вид

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_j + \langle F_i \rangle = \langle \rho \rangle \langle \ddot{u}_i \rangle; \quad (5)$$

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \lambda_{ijmn}^* \langle \varepsilon_{mn} \rangle; \quad (6)$$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \langle u_{(i,j)} \rangle. \quad (7)$$

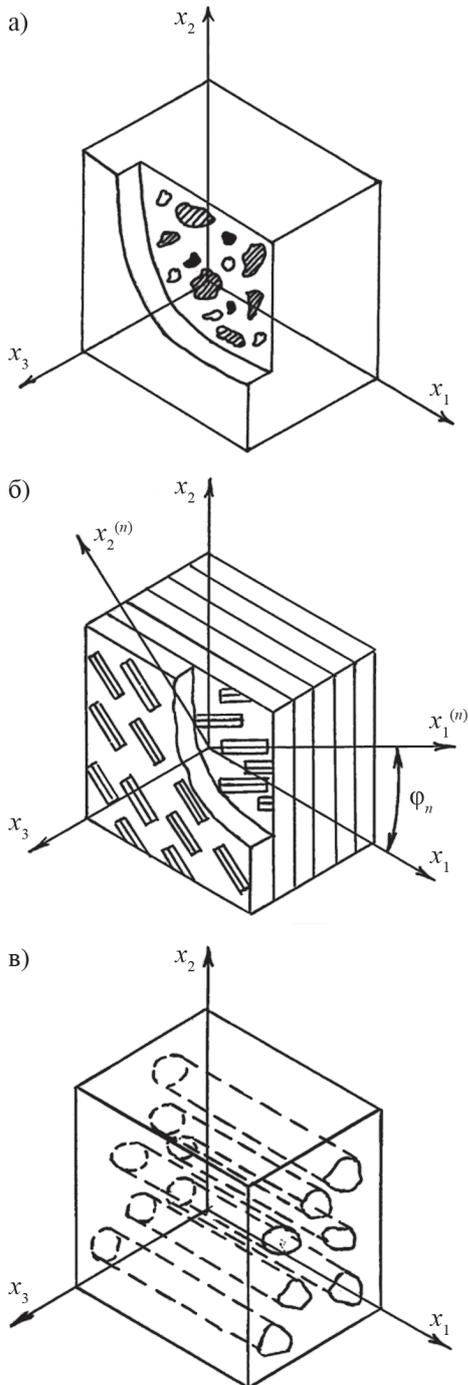


Рисунок. Схема механической модели структуры древесно-цементного материала: а – с минеральным наполнителем; б – с разориентированными частицами; в – с однонаправленными (ориентированными) частицами

При этом внутренняя энергия в микроточке определяется формулой

$$\langle U \rangle = 1/2 \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{ij} \rangle = 1/2 \lambda_{ijmn}^* \langle \varepsilon_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{mn} \rangle = 1/2 s_{ijmn}^* \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \sigma_{mn} \rangle, \quad (8)$$

где  $\lambda_{ijmn}^*$ ,  $s_{ijmn}^* = \lambda_{ijmn}^{-1}$  – соответственно тензоры эффективных модулей упругости и упругих податливостей.

Согласно уравнениям (5–8), эффективные постоянные упругого древесно-цементного ком-

позитного материала могут быть определены на основе решения простейшей задачи о напряженно-деформированном состоянии в микроточках макрообъема при условии, что он находится в условиях однородного статического нагружения, т.е.  $\langle \sigma_{ij} \rangle = \text{const}$ ,  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \text{const}$ .

В этом случае уравнение сохранения импульса (5) удовлетворяется тождественно, а при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, из соотношений Коши (7) следует

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (9)$$

**Постановка задачи.** Пусть макрообъем линейно-упругого древесно-цементного композитного материала стохастической структуры находится в условиях заданных однородных макронапряжений  $\langle \sigma_{ij} \rangle$  или макродеформаций  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ . Задача о напряженно-деформированном состоянии в микроточках тела сводится к уравнениям равновесия

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad (10)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn}; \quad (11)$$

и соотношениям Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} \quad (12)$$

где тензор упругих модулей  $\lambda_{ijmn}$  является заданной случайной функцией координат.

В уравнениях (10) – (12) по повторяющимся индексам ведется суммирование, а индекс после запятой означает дифференцирование по соответствующей координате.

Подставляя (11), (12) в (10), приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно перемещений

$$(\lambda_{ijmn} u_{m,n})_{,j} = 0, \quad (13)$$

при этом граничные условия на поверхности макрообъема при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, имеют вид

$$u_{i|s} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (14)$$

Из соотношений Коши (3) следует уравнение совместности микродеформаций

$$e_{ijp} e_{mnq} \varepsilon_{jn,pq} = 0, \quad (15)$$

где  $e_{ijp}$  – единичный антисимметричный тензор.

Если соотношения (11) подставить в уравнение совместности деформаций (15), то приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно напряжений

$$e_{ijp} e_{mnq} (s_{jnrs} \sigma_{rs})_{,pq} = 0, \quad (16)$$

удовлетворяющим граничным условиям

$$\sigma_{ij} n_{j|s} = \langle \sigma_{ij} \rangle n_{j|s} \quad (17)$$

где  $n_j$  – направляющие косинусы нормали к поверхности.

Тензорное поле модулей упругости  $\lambda_{ijmn}$  принимаем статистически однородным, поэтому микронапряжения  $\sigma_{ij}$  и микродеформации  $\varepsilon_{ij}$  будут также статистически однородными. Так как масштаб корреляции случайных полей  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  пренебрежимо мал по сравнению с размерами макрообъема, то они удовлетворяют свойству эргодичности, т.е. осреднение случайных полей по области определения совпадает со статистическим осреднением по ансамблю реализации. В этом случае выполняются равенства

$$\begin{aligned} \langle \lambda_{ijmn} \rangle &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle; \langle \sigma_{ij} \rangle = \langle \sigma_{ij} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{ij} \rangle &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{pq} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{pq} \rangle; \\ \langle s_{ijmn} \sigma_{pq} \rangle &= \langle s_{ijmn} \sigma_{pq} \rangle. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь слева – статистические средние в точке, справа – статистические средние по макрообъему. Следует отметить, что ансамбль реализаций представляет собой совокупность полей для большого количества макрообъемов, находящихся в одинаковых условиях внешнего воздействия и имеющих один и тот же вид структуры.

Методы решения краевых задач (13, 14, 16–18) идентичны, поэтому рассмотрим задачу в перемещениях. Представим случайные поля  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  в виде сумм математических ожиданий и флуктуаций

$$\lambda_{ijmn} = \langle \lambda_{ijmn} \rangle + \lambda_{ijmn}^0, \sigma_{ij} = \langle \sigma_{ij} \rangle + \sigma_{ij}^0, \varepsilon_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \varepsilon_{ij}^0. \quad (19)$$

Тогда, проводя статистическое осреднение соотношений упругости (11) и учитывая равенства (18), получаем

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle + \langle \lambda_{ijmn}^0 \varepsilon_{mn}^0 \rangle. \quad (20)$$

Из (20) следует, что для определения эффективных упругих постоянных необходимо из краевой задачи (13), (14) найти одноточечные моменты второго порядка  $\langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle$  или  $\langle \lambda_{ijmn}^0 \varepsilon_{mn}^0 \rangle = \langle \lambda_{ijmn}^0 \varepsilon_{mn}^0 \rangle$  как функции математических ожиданий деформаций  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle$ .

Представляем вектор перемещений в виде суммы математического ожидания и флуктуации

$$u_i = \langle u_i \rangle + u_i^0 \quad (21)$$

и учитываем, что для статистически однородных деформаций имеют место равенства

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j, \quad (22)$$

$$u_i = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j + u_i^0. \quad (23)$$

Подставляя (23) в уравнение (13), приведем его к виду

$$\lambda_{ijmn}^c u_{m,nj}^0 + [(\lambda_{ijmn} - \lambda_{ijmn}^c) \varepsilon_{mn}]_{,j} = 0. \quad (24)$$

Здесь  $\lambda_{ijmn}^c$  – некоторый тензор модулей упругости с независимыми от координат компонентами, называемый тензором модулей упругости тела сравнения.

Из соотношений (14), (23) следует, что на границе макрообъема флуктуации перемещений должны обращаться в нуль

$$u_i^0|_s = 0. \quad (25)$$

Поскольку макрообъем древесно-цементного композитного материала существенно превосходит размеры структурных элементов, то занимаемую им область можно рассматривать как бесконечную. Поэтому задача о напряженно-деформированном состоянии макрообъема древесно-цементного композитного материала сводится к решению стохастического дифференциального уравнения (24) для бесконечной области при условии, что на бесконечности выполняется условие

$$u_i^0|_\infty = 0. \quad (26)$$

Если воспользоваться тензорной функцией Грина, удовлетворяющей дифференциальному уравнению

$$\lambda_{ijmn} G_{mk,jn}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + \delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \delta_{ik} = 0 \quad (27)$$

то, подставляя (25), (27) в соотношение взаимности Бетти, приходим к интегральному соотношению

$$u_i^{0(1)} = \int_{v^2} G_{ip}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)})_{,q} dV^{(2)}; \quad \lambda_{pqmn}^{(2)} = \lambda_{pqmn}^{(2)} - \lambda_{pqmn}^c. \quad (28)$$

Подставим (28) в соотношения Коши (12) и проведем интегрирование по частям. Тогда получим стохастические интегральные уравнения относительно деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{(1)} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)} \quad (29)$$

или флуктуаций деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{0(1)} = K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\langle \varepsilon_{mn} \rangle + \varepsilon_{mn}^{0(2)}). \quad (30)$$

Здесь действие интегрального оператора  $K_{ijpq}$  определяется равенством

$$K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} = \int_{v^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} dV^{(2)} + \int_s G_{(ip,j)}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) n_q^{(2)} \varphi^{(2)} ds^{(2)}, \quad (31)$$

где  $s$  – бесконечно удаленная граница области  $v$ ;

$n_q$  – направляющие косинусы нормали к ней.

Если учесть, что интегрирование по бесконечно удаленной границе вследствие эргодичности поля деформаций эквивалентно статистическому осреднению, то соотношение (31) можно привести к виду

$$K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} = \int_{v^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} dV^{(2)}, \quad \varphi^{0(2)} = \varphi^{(2)} - \langle \varphi \rangle. \quad (32)$$

### Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями: Монография – 2-е изд. – М.: МГУЛ, 2006. – 322 с.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ И ФАУТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ПОРОД СОЕДИНЕНИЯМИ ФОРМАЛЬДЕГИДА И КАРБАМИДА

И.Н. МЕДВЕДЕВ, *асп. каф. древесиноведения ВГЛТА*

Из древесины мягколиственных пород во всех развитых странах мира и в России получают полноценный заменитель древесины твердых лиственных и экзотических ценных пород путем химико-механического модифицирования, включающего операции пропитки и прессования [1]. Для модифицирования используется лишь здоровая древесина, имеющая диаметр заготовки до 25 см. Древесина ольхи, осины, тополя, березы при большем диаметре имеет в центральной зоне трубку из гнили диаметром от 5 до 12 см. Объем древесины, пораженной центральной гнилью (при диаметре 25–35 см), составляет в Воронежской области для осины 92 %, тополя – 83 %, ольхи – 70 %, березы – 51 %.

Для получения железнодорожных шпал из модифицированной древесины диаметр бревна должен составлять не менее 25 см и не иметь гнили. Для вовлечения фаутной древесины в процессы модифицирования необходимо было увеличить прочность такой древесины как минимум до прочности здоровой древесины при сохранении показателей формоизменяемости (формостабильности).

В качестве модификатора древесины мягких лиственных пород нами выбраны соединения формальдегида и карбамида как наиболее дешевые и широко применяемые в деревообработке. В древесину вводились: исходные мономеры формальдегид и карбамид; олигомер карбаминоформальдегидный конденсат (КФК); водный раствор полимера – готовой смолы КФ-Ж. Карбамид технической марки Б и формалин имели стандартные характеристики.

Предполагалось, что при использовании мономеров, олигомера и водного раствора полимера получим соединения, имеющие в модифицированной древесине химические связи с компонентами древесного комплекса, способные увеличить формостабильность прессованной древесины до уровня здоровой древесины, как это отмечалось в работах В.А. Шамаева [1] и Г.М. Шутова [2].

Для получения формостабильной древесины проводились испытания образцов фаутной березы и осины, а также здоровой березы.

Основные требования при выборе стабилизатора: достижение равенства величины разбухания прессованной древесины и натуральной; влаго- и водопоглощение должны быть приведены к значениям здоровой древесины. Фаутную древесину березы и осины, а также здоровую березу для получения повышенной прочности пропитывали стабилизаторами, выбор которых определялся экономическими и экологическими показателями. Первая серия брусков пропитывались смесью мономеров (37 %-ный р-р формалина, карбамида и воды), вторая – форконденсат карбаминоформальдегидным олигомером (КФК); третья – карбаминоформальдегидной смолой (КФ-Ж).

Брусочки, размерами пресс-формы (50 × 50 × 90 мм), пропитывались вышеуказанными стабилизаторами до 30 % сухого остатка от массы абсолютно сухой древесины. Далее их прессовали одноосным прессованием (степень прессования 35 %) и высушивали при температуре 110 °С в течение 6–8 ч до влажности 12 %. Из полученных брусочков вырезались по ГОСТ 9629-85 образцы размером 15 × 15 × 22,5 мм и помещались в эксикатор (верхние образцы над водой, для определения влагопоглощения и линейного разбухания при влагопоглощении; нижние образцы находились в воде, для определения водопоглощения и линейного разбухания при водопоглощении) на 1, 3, 6, 10, 30 суток.

Т а б л и ц а

### Предел прочности при сжатии вдоль волокон древесины различных марок

Порода	Контроль предела прочности, МПа	Предел прочности при сжатии для модификатора, МПа		
		формалин	КФК	КФ-Ж
Береза здоровая	54,0	87,6	106,2	70,6
Береза фаутная	16,1	23,5	65,7	46,2
Осина фаутная	14,6	14,6	46,5	45,62
Береза здоровая (прессованная)	75,8	–	–	–
Береза фаутная (прессованная)	31,3	–	–	–
Осина фаутная (прессованная)	29,2	–	–	–
Осина натуральная	43	–	–	–

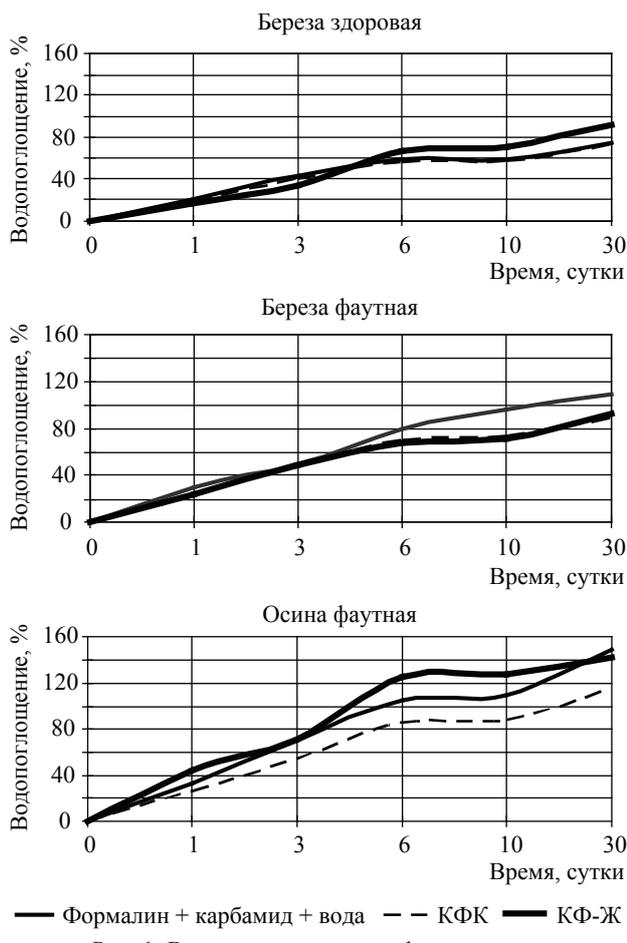


Рис. 1. Водопоглощение модифицированной древесины

На рис. 1 представлены кривые водопоглощения модифицированной здоровой березы и фаутной березы и осины. Здоровая береза имеет наименьшее водопоглощение при пропитке стабилизатором КФК и составляет 60 %. Водопоглощение фаутной осины – 89,1 %, фаутной березы для стабилизатора КФК – 75,1 %, а линейное водопоглощение – 73,8 % для стабилизатора КФ-Ж.

Объемное разбухание при влагопоглощении показано на рис. 2. Наименьшее объемное разбухание для здоровой березы составляет 37,3 %, осины фаутной – 31,1 %, получены при пропитке формалин + карбамид + вода, а для фаутной березы объемное разбухание – 30,6 % при пропитке стабилизатором КФК.

Результаты испытаний предела прочности при статическом сжатии вдоль волокон представлены в таблице.

Наилучшие результаты получены для стабилизатора КФК для всех испытанных пород древесины. Показатель прочности фаутной древесины достигает при пропитке стабилизатором КФК прочности натуральной древесины, для березы

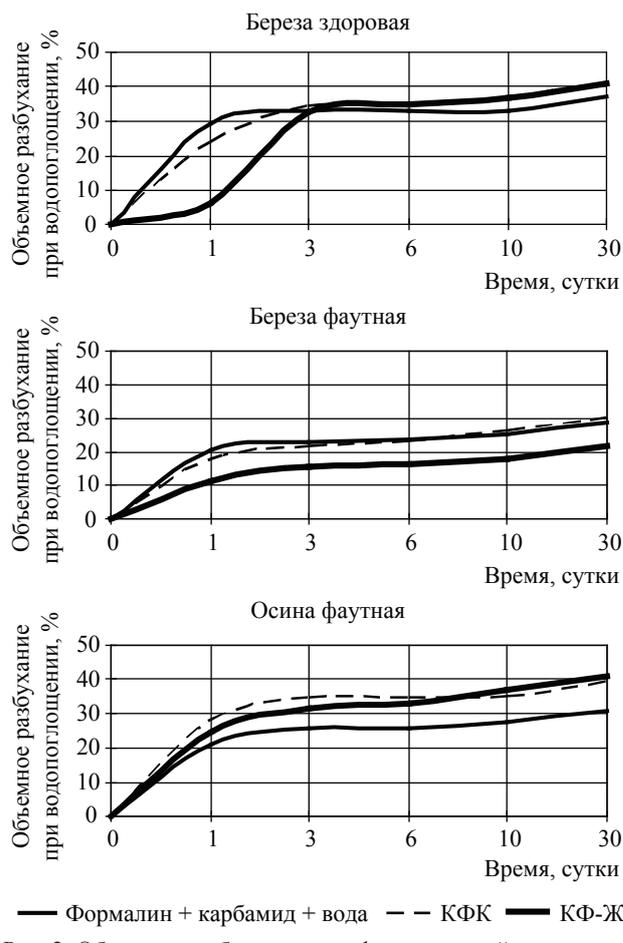


Рис. 2. Объемное разбухание модифицированной древесины при влагопоглощении

фаутной 65,7 МПа, а осины фаутной 46,5 МПа, для березы здоровой – 106,2 МПа.

### Выводы

1. Стабилизация прессованной древесины модификаторами: формалин + карбамид; форконденсат, карбамидо-формальдегидного олигомера; карбамидо-формальдегидная смола – КФ-Ж в количестве 30 % от массы абсолютно сухой древесины позволяет снизить водопоглощение до 60–70 % и объемное разбухание при водо- и влагопоглощении соответственно до 45–55 % и 35–45 %.

2. Обработка древесины форконденсатом карбамидо-формальдегидного олигомера позволяет увеличить статическую прочность при сжатии вдоль волокон фаутной древесины до прочности натуральной древесины.

### Библиографический список

1. Шамаев, В.А. Химико-механическое модифицирование древесины / В.А. Шамаев. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. академ., 2003. – 260 с.
2. Шутов, Г.Н. Основы модифицирования древесины термохимическим способом: автореф. дис. ... д-р тех. наук / Г.Н. Шутов – М.: МГУЛ, 1982. – 33 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ШКАЛ ДЛЯ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,*

Е.Г. КОМАРОВ, *доц. каф. информационно-измерительных систем МГУЛ, канд. техн. наук,*

И.В. АНТОШИНА, *доц. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, канд. техн. наук*

В последнее десятилетие все более широкое распространение получают образовательные информационные ресурсы, что влечет трансформацию традиционных представлений об образовательном процессе. Даже при дневной форме обучения все большую долю времени отводят на занятия с такими образовательными информационными ресурсами, как электронные учебники, виртуальные лабораторные практикумы, средства автоматизированного контроля знаний и прочими.

Кроме того, появилась новая форма – дистанционное образование, которое базируется на использовании различных классов электронных ресурсов, и, кроме того, информационное средство дистанционного обучения должно включать модуль администрирования учебного процесса, который фиксирует достижения обучающихся, позволяет корректировать траекторию обучения исходя из уровня усвоения материала.

Популярность информационных образовательных ресурсов и наличие средств, упрощающих процесс их разработки, привели к тому, что их созданием занялись многие преподаватели. Однако к качеству информационных образовательных ресурсов нельзя относиться легкомысленно и следует предъявлять достаточно жесткие требования. Очевидно, что в отсутствие преподавателя грамотно разработанный ресурс имеет прямое влияние на уровень усвоения материала.

На сегодняшний день всем понятны преимущества электронных образовательных ресурсов по сравнению с их бумажными аналогами, например, это положительный эффект от незамедлительной обратной связи, нелинейность представления информации (возможность перехода по гиперссылкам), большая наглядность представления материалов посредством мультимедийных данных. Однако электронное представление материала имеет свои правила, которыми нельзя пренебрегать и которые не всегда известны разработчикам «из народа». Например, известно,

что электронный текст воспринимается на 25 % хуже бумажного аналога. Вся информация, представленная на одном экране, должна быть определенным образом структурирована, так, например, каждый кадр (экран) не должен быть перегружен и в то же время содержать логически законченную информацию.

Для того чтобы грамотно выбрать информационный образовательный ресурс из множества уже существующих аналогов или грамотно разработать свой вариант, следует произвести оценку качества ресурса, опираясь на систему характеристик качества.

Разработка системы характеристик качества для информационных образовательных средств является нетривиальной задачей. Она разрабатывается группой экспертов, основными инструментами которых являются не только знания, но и интуиция. Тем не менее, от полноты и адекватности системы зависит точность полученных оценок качества. Кроме того, предметная область, объем курса и, наконец, возраст потенциальных обучаемых порождают свои требования к контенту. Система характеристик качества должна быть динамичной, т.к. информационные образовательные ресурсы развиваются, а вместе с ними должна развиваться и она.

В данной статье предлагается методика составления системы характеристик качества, включающая следующие этапы.

I этап. Набор группы экспертов.

В эту группу должны быть привлечены специалисты в области информационных образовательных ресурсов, для которых составляется система характеристик, например разработчики или опытные пользователи.

II этап. Создание проекта системы характеристик качества.

Группа экспертов составляет проект системы характеристик качества, причем на этом этапе каждый эксперт имеет право добавить новую характеристику качества в систему, но никто не

имеет право исключать. При разработке проекта необходимо учитывать следующие требования:

1. Система характеристик качества должна иметь иерархическую структуру, причем ее построение производится сверху вниз, это позволяет не упустить из рассмотрения отдельные характеристики. На верхнем уровне иерархии находятся наиболее значимые факторы, существенно влияющие на качество оцениваемых ресурсов. Как правило, эти факторы не учитывают качество реализации конкретных функций ресурса или его конкретные свойства, а оценивают ресурс в целом. Известно, что экспертная оценка таких комплексных характеристик (факторов) затруднительна из-за психофизических особенностей мозга человека и вследствие этого менее точна, чем оценка конкретных единичных характеристик качества.

Для информационных образовательных ресурсов в качестве факторов предлагается использовать следующие три составляющих: дидактическая, психоэргономическая и, наконец, технологическая. Дидактическая составляющая характеризует, насколько грамотно подобран с дидактической точки зрения контент информационного образовательного ресурса и насколько полно он позволяет использовать существующие методы преподавания. Психоэргономическая составляющая характеризует, насколько грамотно с точки зрения физического и психологического комфорта обучаемого реализован данный ресурс. Технологическая составляющая характеризует, насколько удачно разработчикам ресурса с технологической точки зрения удалось реализовать все решения методического и психоэргономического характера.

Факторы качества на следующем уровне иерархии раскрываются в подхарактеристиках, каждая из которых конкретизирует одну из сторон их проявления. Эти подхарактеристики раскрываются на следующем уровне иерархии. Подобная процедура продолжается до тех пор, пока на нижнем уровне иерархии не разместятся характеристики, описывающие конкретные функциональные возможности и свойства информационного образовательного ресурса. Известно, что характеристики качества зачастую носят качественный характер и могут быть оценены только экспертно. Их экспертная оценка значительно проще, как уже было отмечено.

2. Ясность формулировок наименований характеристик. Для однозначности толкования

характеристик всеми экспертами разрабатываются их определения.

3. Соответствие установившимся понятиям и терминологии.

4. Полнота. В системе должны присутствовать характеристики, описывающие все основные возможности и свойства ресурса.

5. Информативность. Каждая характеристика качества должна описывать важное свойство ресурса.

6. Неизбыточность. Все подхарактеристики качества, раскрывающие содержание одной характеристики, должны быть независимы. Обычно независимость характеристик определяется экспертами умозрительно. Авторами для проверки гипотезы о независимости характеристик предлагается описанная ниже методика.

Система характеристик качества, как уже было отмечено, не является статичной системой. Она развивается с течением времени. По мере накопления статистических данных об оценках характеристик качества для различных ресурсов (или различных версий одного ресурса) можно уточнить их независимость. Для этого рассчитывается коэффициент корреляции для количественных показателей и коэффициент ранговой корреляции для качественных показателей.

Как известно, характеристики качества могут носить как количественный, так и качественный характер. Линейная независимость характеристик может быть подтверждена близостью к нулю значения коэффициента корреляции.

Для количественных характеристик коэффициент корреляции рассчитывается как

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

где  $n$  – количество оцененных ресурсов;

$x_i, y_i$  – оценки характеристик  $X$  и  $Y$  для  $i$ -го ресурса.

Так как оценка коэффициента корреляции проводится на ограниченной выборке, то допустимо отклонение его значения от нуля при линейной независимости количественных характеристик качества. Гипотеза об их независимости подтверждается справедливостью следующего неравенства

$$\frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \leq t_\alpha,$$

где  $t_\alpha$  – определяется распределением Стьюдента при  $(n-2)$  степенях свободы.

Пусть для качественной характеристики  $X_i$  задана лингвистическая шкала  $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$ , имеющая  $k$  градаций. Тогда коэффициент ранговой корреляции рассчитывается как

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_j^2}{n(n^2 - 1)},$$

где  $d_j$  – разность значений рангов, расположенных в двух рядах значений характеристик качества  $j$ -го ресурса.

Для того чтобы перевести оценки, полученные по лингвистической шкале в значения рангов, используется следующая формула

$$r_i = \sum_{l=m_{k-i}+1}^{m_{k-i+1}+m_{k-i}} l / m_{k-j+1},$$

где  $m_j$  – число оценок для данной характеристики, соответствующих  $j$ -му уровню градации лингвистической шкалы.

Для подтверждения гипотезы о линейной независимости двух характеристик с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$  необходимо, чтобы выполнялось условие

$$|r_s| \leq \frac{1,96}{\sqrt{n-1}}.$$

Таким образом, если гипотеза о независимости двух характеристик не подтверждается, то такую систему характеристик необходимо скорректировать:

- при близости значения модуля коэффициента корреляции к единице следует удалить одну из характеристик из системы;
- при менее слабой линейной зависимости следует объединить эти две характеристики в одну.

III этап. Отсев неважных характеристик из проекта.

При проведении этой процедуры для каждой характеристики нижнего уровня иерархии проводится экспертный опрос, в ходе которого каждый эксперт выносит свое решение о значимости ее влияния на качество ресурса в целом. После проведения экспертного опроса рассчитывается согласованность мнений экспертов для каждой характеристики качества

$$\mu_i = b_i / b,$$

где  $b_i$  – число экспертов, согласных, что влиянием  $i$ -й характеристики на качество ресурса пренебречь нельзя;

$b$  – общее число экспертов, участвующих в опросе.

Для отсева характеристик, влиянием которых на качество ресурса можно пренебречь, вводится пороговое значение согласованности  $\mu_{\text{пор}}$ . Характеристики, для которых функция согласованности не достигла порогового уровня, исключаются из системы характеристик качества. Пороговый уровень согласованности назначается группой экспертов и должен принадлежать интервалу  $[0,5; 1]$ .

Итак, в статье предложена методика и рекомендации по составлению системы характеристик качества для информационных образовательных ресурсов. На их основе авторами были составлены системы характеристик качества для ряда классов информационных образовательных ресурсов: класса электронных учебников, виртуальных лабораторных практикумов, сред автоматизированного контроля знаний, электронных энциклопедий, средств дистанционного обучения и других.

Для оценивания или описания характеристик эксперты могут применять разные множества их лингвистических значений. Одни множества доставляют трудности экспертам в связи с недостаточностью значений, другие – в связи с избыточностью. В результате этих трудностей следует ожидать увеличения нечеткости и рассогласованности поступающей от экспертов информации.

Естественным вопросом при оценивании экспертом проявлений признаков является такой: «По каким критериям должен производиться выбор оптимального множества значений лингвистической шкалы, которая применяется при оценивании той или иной характеристики?»). Были определены следующие критерии оптимальности.

1. Под оптимальным множеством лингвистических значений характеристик понимается такое множество значений, используя которое эксперты испытывают минимальную неопределенность при описании реальных объектов.

2. Под оптимальным множеством лингвистических значений характеристик понимается такое множество значений, которое обеспечивает максимальную согласованность экспертной информации.

Будем предполагать, что для оценивания или описания характеристики  $X$  привлекаются  $k$  экспертов.

После этого формулируются множества  $T_1 = \{X_1, X_2\}$ ,  $T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$ , ...,  $T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  лингвистических значений характеристики  $X$ , которые могут применяться для ее оценивания.

После этого экспертам предлагается оценить (или описать) эту характеристику последовательно в рамках каждого из сформулированных множеств ее лингвистических значений.

Пусть

$T_1 = \{X_1, X_2\}, T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}, \dots, T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  терм-множества полных ортогональных семантических пространств, построенных в рамках этих множеств на основе информации, полученной от каждого из  $k$  экспертов.

Обозначим через  $P_i^p, i = \overline{1, n-1}, p = \overline{1, k}$  модель экспертного оценивания или описания признака  $X$   $p$ -м экспертом в рамках терм-множества  $T_i$  (полное ортогональное семантическое пространство  $p$ -го эксперта с терм-множеством  $T_i$ ), а через  $P_i, i = \overline{1, n-1}$  обобщенную модель экспертного оценивания или описания признака  $X$  в рамках терм-множества  $T_i$ .

Обозначим функции принадлежности  $P_i^p, i = \overline{1, n-1}, p = \overline{1, k}$  через

$$\mu_{ilp}(x) \equiv (a_1^{ilp}, a_2^{ilp}, a_L^{ilp}, a_R^{ilp}), l = \overline{1, i+1},$$

а функции принадлежности  $P_i, i = \overline{1, n-1}$  через

$$f_{il}(x) = (a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il}), l = \overline{1, i+1}.$$

Определим потери информации между

$$P_i^p, i = \overline{1, n-1}, p = \overline{1, k} \text{ и } P_i, i = \overline{1, n-1}$$

при фиксированном  $i$  следующим образом

$$d(P_i^p, P_i) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{i+1} \int_0^1 |\mu_{ilp}(x) - f_{il}(x)| dx, p = \overline{1, k}.$$

Потерей информации при построении обобщенной модели в рамках терм-множества  $T_i, i = \overline{1, n-1}$ , назовем среднее значение потерь информации между  $P_i^p, i = \overline{1, n-1}, p = \overline{1, k}$  и обобщенной моделью  $P_i, i = \overline{1, n-1}$ :

$$\sigma = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k d(P_i^p, P_i), i = \overline{1, n-1}.$$

Построение обобщенной модели в рамках терм-множества  $T_i, i = \overline{1, n-1}$  осуществляется таким образом, чтобы потери информации были минимальны.

Обозначим через  $\xi(T_i), i = \overline{1, n-1}$  – степень нечеткости модели  $P_i, i = \overline{1, n-1}$ , а через  $\kappa_i$  – показатель общей согласованности моделей  $P_i^p, p = \overline{1, k}$ .

Степенью нечеткости  $P_i, i = \overline{1, n-1}$  называется число

$$\xi(T_i) = \frac{|U_i|}{2|U_i|},$$

где  $U_i$  – универсальное множество  $P_i, i = \overline{1, n-1}$ , а  $U_i$  – подмножество универсального

множества, на котором функции принадлежности термов принимают значения больше нуля и меньше единицы.

Показателем (аддитивным) общей согласованности моделей  $P_i^p, p = \overline{1, k}$  назовем число

$$\kappa_i = \frac{1}{k} \sum_{p=1}^k \frac{\int_0^1 \min(\mu_{i1p}(x), \mu_{i2p}(x), \dots, \mu_{i+1p}(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_{i1p}(x), \mu_{i2p}(x), \dots, \mu_{i+1p}(x)) dx}, i = \overline{1, n-1}.$$

Построим для показателя согласованности полное ортогональное семантическое пространство с универсальным множеством  $[0, 1]$ , термами «низкий», «высокий» и функциями принадлежности термов  $\mu_1(x), \mu_2(x)$  (например, не ограничивая общности  $\mu_1(x) \equiv (0; 0,25; 0; 0,50)$ ,  $\mu_2(x) \equiv (0,75; 1; 0,25; 0)$ ). Построим для степени нечеткости ПОСП с универсальным множеством  $[0, 0,5]$ , термами «малая», «большая» и функциями принадлежности термов  $\eta_1(x), \eta_2(x)$  (например, не ограничивая общности  $\eta_1(x) \equiv (0; 0,20; 0; 0,20)$ ,  $\eta_2(x) \equiv (0,40; 0,50; 0,20; 0)$ ).

Вычислим в рамках всех множеств лингвистических значений признаков значения принадлежности степеней нечеткости обобщенных моделей к терму «малая» –  $\eta_1(\xi(T_i)), i = \overline{1, n-1}$  и значения принадлежности показателей согласованности моделей экспертов к терму «высокий» –  $\mu_2(\kappa_i), i = \overline{1, n-1}$ .

Определим

$$\theta_i = \min[\eta_1(\xi(T_i)), \mu_2(\kappa_i)], i = \overline{1, n-1}.$$

Тогда множество  $T_j$  лингвистических значений признака считается оптимальным множеством [4], если

$$\theta_j = \max_{1 \leq i \leq n-1} \theta_i.$$

На основе разработанного метода было определено оптимальное множество лингвистической шкалы, используемой при оценивании возможности учета индивидуальности обучаемого электронными учебниками. Как показывают многочисленные исследования, построение оптимального множества лингвистической шкалы для оценивания одной характеристики может быть использовано для определения оптимального множества лингвистической шкалы для оценивания другой характеристики, которая с точки зрения экспертов доставляет им те же трудности, что и первая.

Были рассмотрены 25 электронных учебников, для оценивания которых пять экспертов

сформировали три множества значений лингвистической шкалы.

1. «низкая», «средняя», «высокая»;
2. «практически нулевая», «низкая», «средняя», «высокая»;
3. «практически нулевая», «низкая», «средняя», «высокая», «очень высокая».

Оценивая возможность учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого по шкале «практически нулевая», «низкая», «средняя», «высокая», эксперты были получили результаты, занесенные в табл. 1.

В табл. 2 представлены относительные результаты оценивания пятью экспертами возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого.

Т а б л и ц а 1

**Результаты оценивания экспертами возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого**

№ эксп.	Практически нулевая	Низкая	Средняя	Высокая
1	4	9	9	3
2	3	11	9	2
3	3	10	7	5
4	4	8	9	4
5	3	7	10	5

Т а б л и ц а 2

**Относительные результаты оценивания экспертами возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого**

№ эксп.	Практически нулевая	Низкая	Средняя	Высокая
1	0,16	0,4	0,32	0,12
2	0,12	0,48	0,32	0,08
3	0,12	0,4	0,32	0,16
4	0,16	0,36	0,36	0,12
5	0,12	0,28	0,4	0,2

На основании метода [5] получены функции принадлежности терм-множеств пяти полных ортогональных семантических пространств, графики которых изображены на рис. 1–5.

После этого были вычислены аддитивный показатель  $\kappa$  общей согласованности моделей экспертов

$$\kappa = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{5l}(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{5l}(x)) dx},$$

и мультипликативный показатель  $\tilde{\kappa}$  общей согласованности моделей

$$\tilde{\kappa} = \sqrt[m]{\prod_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{5l}(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{5l}(x)) dx}}.$$

Вычисления позволили получить результаты  $\kappa = 0,602$ ,  $\tilde{\kappa} = 0,595$ .

На основании полученных значений был сделан вывод о достаточной согласованности моделей экспертного оценивания возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого.

Обобщенная модель экспертного оценивания возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого по шкале «практически нулевая», «низкая», «средняя», «высокая» была построена в следующем виде

$$X = \{f_l(x), l = \overline{1,4}\} = \left\{ \sum_{i=1}^5 \omega_i \mu_{il}(x), l = \overline{1,4} \right\},$$

$$f_l(x) \equiv (a_1^l, a_2^l, a_L^l, a_R^l) =$$

$$= \left\{ \sum_{i=1}^5 \omega_i a_i^l(x), \sum_{i=1}^5 \omega_i a_2^l, \sum_{i=1}^5 \omega_i a_L^l, \sum_{i=1}^5 \omega_i a_R^l, l = \overline{1,4} \right\},$$

$$f_1(x) \equiv (0, 0,066, 0, 0,132),$$

$$f_2(x) \equiv (0,198, 0,318, 0,132, 0,328),$$

$$f_3(x) \equiv (0,646, 0,788, 0,328, 0,141),$$

$$f_4(x) \equiv (0,929, 1, 0,141, 0)$$

Весовые коэффициенты были взяты равными 1/5. Степень нечеткости обобщенной модели равна 0,332.

Проведенные исследования в рамках шкалы «низкая», «средняя», «высокая» позволили получить обобщенную модель  $V$  с функциями принадлежности

$$f_1^1(x) \equiv (0, 0,060, 0, 0,261), f_2^1(x) \equiv (0,321, 0,378, 0,261, 0,432), f_3^1(x) \equiv (0,810, 1, 0,432, 0).$$

Аддитивный показатель  $\kappa$  общей согласованности моделей экспертов равен 0.604, мультипликативный показатель  $\tilde{\kappa}$  равен 0,582, степень нечеткости модели  $V$  равна 0,331.

При использовании шкалы «практически нулевая», «низкая», «средняя», «высокая», «очень высокая» была получена обобщенная модель  $Y$  с функциями принадлежности

$$f_1^2(x) \equiv (0, 0,061, 0, 0,117),$$

$$f_2^2(x) \equiv (0,178, 0,246, 0,117, 0,212),$$

$$f_3^2(x) \equiv (0,458, 0,645, 0,212, 0,172),$$

$$f_4^2(x) \equiv (0,817, 0,825, 0,172, 0,162),$$

$$f_5^2(x) \equiv (0,987, 1, 0,162, 0).$$

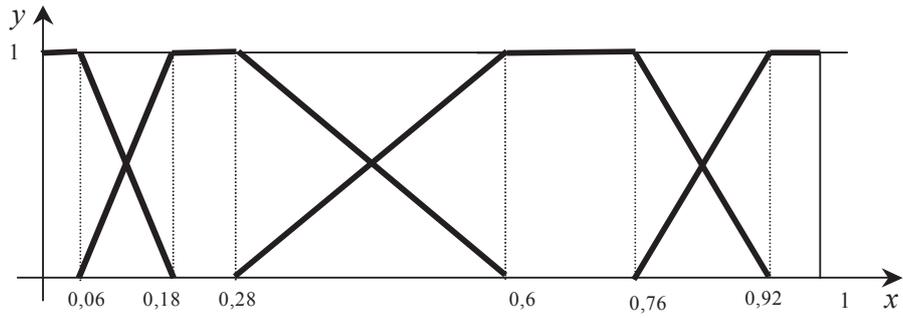


Рис. 1. Функции принадлежности термов модели первого эксперта

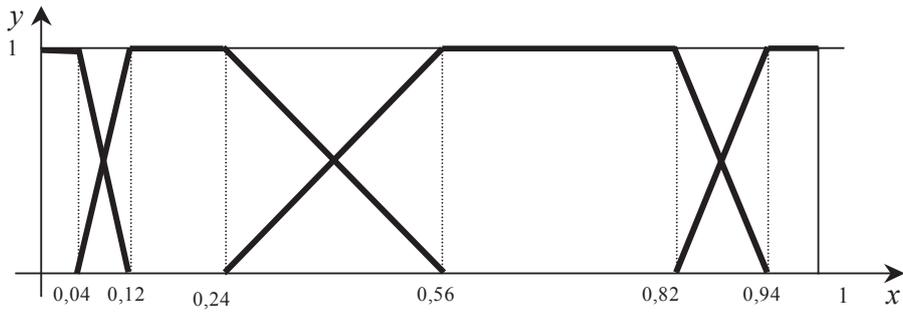


Рис. 2. Функции принадлежности термов модели второго эксперта

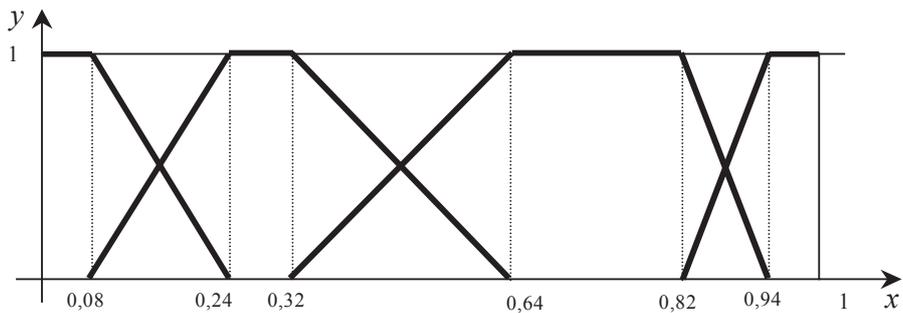


Рис. 3. Функции принадлежности термов модели третьего эксперта

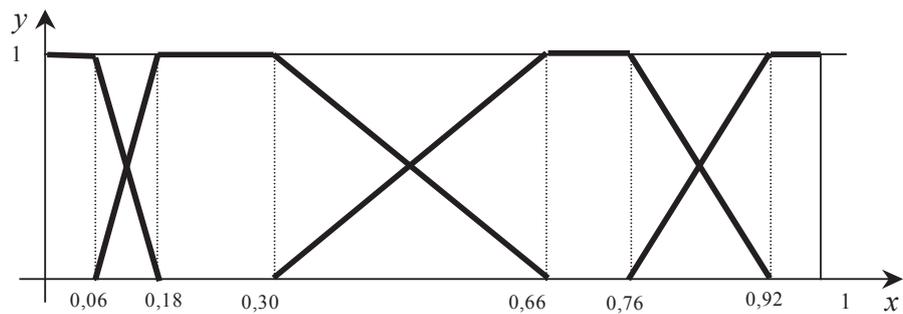


Рис. 4. Функции принадлежности термов модели четвертого эксперта

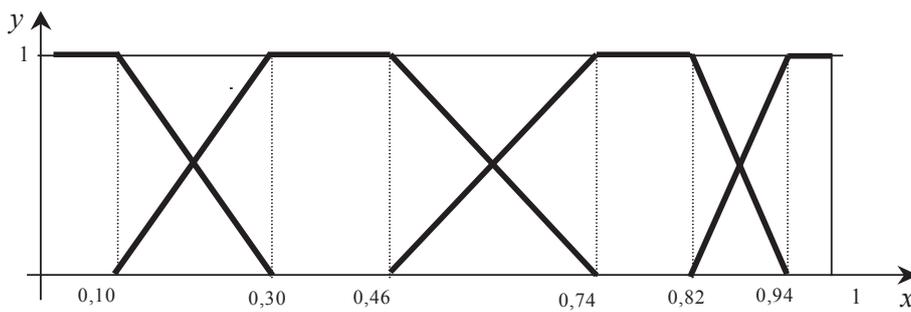


Рис. 5. Функции принадлежности термов модели пятого эксперта

Аддитивный показатель к общей согласованности моделей экспертов равен 0,594, мультипликативный показатель  $\tilde{\kappa}$  равен 0.563, степень нечеткости модели  $Y$  равна 0,347.

На основе сравнения результатов, полученных в рамках трех сформулированных множеств лингвистических значений возможности учета электронными учебниками индивидуальности обучаемого, сделан вывод, что оптимальным множеством лингвистической шкалы для экспертного оценивания завершенности программных средств является множество термов: «низкая», «средняя», «высокая».

Таким образом, в статье разработана методика составления системы характеристик качества образовательных информационных ресурсов и метод построения лингвистических шкал для их оценивания. Лингвистические шкалы строятся с оптимальным множеством элементов, что позволяет при экспертном оценивании качественных характеристик получать максимально согласованную информацию в условиях ее минимальной нечеткости.

### Библиографический список

1. Антошина, И.В. Методика составления системы характеристик качества для программных средств / И.В. Антошина, В.Г. Домрачев, И.В. Ретинская // Качество, инновации, образование. – 2002. – № 3. – С. 57–60.
2. Антошина, И.В. Построение иерархической системы характеристик качества математических пакетов / И.В. Антошина // Межвузовская научно-методическая конференция «Информационные технологии и фундаментализация высшего образования» (21 – 22 октября 1999г.). Тезисы докладов. – М.: РГУ нефти и газа им И.М. Губкина, 1999. – С. 48–50.
3. Антошина, И.В. Система характеристик качества электронных учебников / И.В. Антошина, В.Г. Домрачев, О.М. Полещук // Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационного общества: материалы научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2005. – С. 236–239.
4. Домрачев, В.Г. Определение оптимального множества значений лингвистических шкал для экспертного оценивания качества программных средств / В.Г. Домрачев, О.М. Полещук, И.В. Ретинская // Телематика – 2003: труды Всероссийской научно-методической конференции. – СПб., 2003. – Т.1. – С. 255–257.
5. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2002. – № 5(25). – С. 198–216.

## РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОМПЛЕКСНОЙ САПР КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ

П.Ю. БУНАКОВ, доц. каф. автоматизации производства и проектирования в машиностроении Коломенского института Московского государственного открытого университета, канд. техн. наук,  
А.В. СТАРИКОВ, доц. каф. вычислительной техники ВГЛТА, канд. техн. наук,  
В.Н. ХАРИН, проф. каф. вычислительной техники ВГЛТА, д-р техн. наук

В развитии отечественной мебельной промышленности в последнее время наметилась устойчивая положительная динамика. По оценкам экспертов, темпы роста объемов производства в 1-м полугодии 2006 г. по сравнению с соответствующим периодом 2005 г. составили более 10 %, при этом на выпуск корпусной мебели приходится около 75 % всей номенклатуры изделий [1]. Мебельным предприятиям приходится работать в условиях весьма жесткой конкуренции по всем сегментам рынка, соревнуясь как между собой, так с импортерами мебели, имеющими налаженные каналы поставок современной и качественной мебели из-за рубежа, главным образом из Италии (27 %), которая на протяжении многих лет выступает в роли законодателя мировой мебельной моды [1]. В результате отечественный потребитель получает возможность выбора ме-

бельных изделий в широком ценовом диапазоне. Это неизбежно приводит к смещению акцентов потребительских запросов в сторону новизны дизайнерских решений, гарантированно высокого качества изделий, использования современных, экологически чистых конструкционных и эстетически привлекательных отделочных материалов, оригинальности и индивидуальности при разработке проекта интерьера жилого помещения.

Изменение структуры качественных критериев потребительского спроса приводит к необходимости выполнения реинжиниринга бизнес-процессов на мебельных предприятиях с целью удовлетворения максимально большего количества индивидуальных запросов потребителей. Как следствие возрастает объем дизайнерских, проектно-конструкторских и технологических работ при одновременном усложнении проектируемых

изделий, повышении требований к их качеству и технологичности, а также срокам реализации индивидуальных заказов или передачи новых образцов в производство. Практическое решение указанных задач требует широкого использования комплексных САПР (CAD/CAM/CAE/PDM-систем), осуществляющих сквозную информационную поддержку процессов всех этапов жизненного цикла мебельных изделий.

Одной из важных задач автоматизации мебельного предприятия является повышение уровня технологичности выпускаемых изделий. Под технологичностью конструкции изделия понимают такую совокупность его конструктивно-технологических параметров, которая обеспечивает изготовление и сборку наиболее эффективным способом по сравнению с конструкциями аналогичного функционального назначения и качества, изготавливаемыми в одинаковых производственных условиях. Для оценки вариантов конструкций используются базовые показатели технологичности изделия, которые могут варьироваться для различных групп изделий, поэтому при сравнительной количественной оценке должны применяться одни и те же показатели, рассчитываемые по идентичным методикам [2].

Задача обеспечения технологичности конструкции мебельного изделия логически и информационно связывает этапы конструкторской (оптимизация конструктивных решений) и технологической подготовки производства. Ее цель – повышение производительности труда, сокращение времени на изготовление изделий, оптимизация трудовых и материальных затрат, сокращение внепроизводственных издержек.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия производится по ряду показателей, основным из которых является технологическая себестоимость изготовления, имеющая комплексный характер. Уточняющими показателями могут служить трудоемкость изготовления изделия, удельная материалоемкость изделия, степень унификации конструкции и ряд других. Уровень технологичности изделия зависит от серийности производства, которая в условиях индивидуализации выпускаемой продукции имеет ярко выраженный вероятностный характер, поэтому при его оценке основную роль играют функциональное назначение изделия, степень его новизны, конструктивная сложность и условия изготовления.

Технологичность является интегрированной характеристикой мебельного изделия, которая проявляется в затратах труда, средств производства (инструментов), материалов и времени. Иными словами, она определяет общую эффективность организации процесса производства мебели на всех его стадиях. Показатели технологичности характеризуют эффективность выбранных конструкторско-технологических решений с точки зрения обеспечения максимального снижения трудоемкости и материалоемкости при изготовлении мебели промышленными способами.

В современном автоматизированном производстве технологичность является фактором непосредственного повышения эффективности производства, обеспечивая возможность роста выпуска продукции и производительности труда без дополнительных затрат средств и времени.

Работы по обеспечению технологичности мебельных изделий выполняются в следующей последовательности:

- 1) определение планируемых объемов выпуска изделия;
- 2) анализ исходных данных для оценки технологичности изделия и показателей технологичности изделий-аналогов;
- 3) определение показателей технологичности составных частей изделия и всего изделия в целом;
- 4) разработка рекомендаций и проведение мероприятий по повышению значений показателей технологичности.

На технологичность мебельных изделий влияет большое количество объективных и субъективных факторов, основными из которых являются следующие:

- степень унификации деталей и сборок;
- конструктивное подобие контуров щитовых элементов (панелей) сложных геометрических форм как основа применения типовых и групповых технологических процессов их изготовления;
- проработка конструктивных форм деталей и используемой фурнитуры для обеспечения необходимой точности, жесткости и прочности изделия в процессе сборки и эксплуатации;
- минимизация количества операций за счет использования единых технологических баз;
- конструктивные параметры деталей и фурнитуры, которые позволяют реализовать процесс изготовления с использованием унифици-

рованного технологического оснащения, транспортных и складских средств, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации производственных процессов;

– материалоемкость изделия, снижение которой за счет рациональной его компоновки и оптимизации раскроя материалов значительно уменьшает себестоимость.

Оценка уровня технологичности конструкции изделия может выполняться по качественным и количественным показателям. Качественная оценка носит обобщенный характер и базируется на субъективном опыте конструктора или технолога. Она явно или неявно выполняется на всех этапах проектирования в том случае, когда необходимо произвести выбор лучшего проектного решения. Качественная сравнительная оценка возможных вариантов конструкции или технологии изготовления является достаточной, если на данном этапе не требуется определения степени различия технологичности вариантов. В противном случае качественная оценка является необходимой и предшествует количественной оценке технологичности.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия предполагает определение численных значений параметров, характеризующих степень реализации соответствующих требований. По природе задача количественной оценки технологичности является оптимизационной и в общем виде может быть сформулирована следующим образом.

Найти такую пару  $(k_{opt}, t_{opt})$ , которая обеспечивает

$$W(m, \varphi, c, k_{opt}, t_{opt}) \rightarrow \min W(m, \varphi, c, k, t) \quad (1)$$

и удовлетворяет системе ограничений

$$f_k(k) \geq k_{\min}, f_c(k, t) \leq T_{шт}, k_{opt} \in K, t_{opt} \in \Psi, (k, t) \in P, \quad (2)$$

где  $W$  – приведенные затраты на изготовление изделия;

$m$  – вектор параметров используемых материалов;

$\varphi$  – вектор параметров используемой фурнитуры;

$c$  – технологические константы производства;

$k$  – вектор конструктивных параметров изделия;

$t$  – вектор параметров технологических процессов изготовления;

$K$  – множество допустимых вариантов конструкции изделия;

$\Psi$  – множество допустимых вариантов технологических процессов;

$P$  – множество параметров, определяющее возможности производственной системы предприятия;

$f_k(k)$  – функция, определяющая показатели качества изделия;

$f_c(k, t)$  – функция, определяющая длительность производственного цикла и изготовления изделия;

$k_{\min}$  – заданный показатель уровня качества;

$T_{шт}$  – штучное время (время, затрачиваемое на изготовление единицы продукции).

Таким образом, конструкция мебельного изделия считается технологичной, если вектор  $k_{opt}$  удовлетворяет условиям (1) и (2).

Для оценки технологичности мебельного изделия необходимо предварительно выполнить оценку технологичности изготовления отдельных панелей и сборочных единиц, изготавливаемых на данном предприятии (ящики, сборные раздвижные двери с профилем и т.д.). Соответствующие критерии вносят неодинаковый количественный вклад в общую оценку технологичности. По этой причине выбирается некоторый набор критериев технологичности отдельных панелей и сборок (в дальнейшем все их будем для краткости именовать деталями) и весовых коэффициентов, посредством которых учитывается удельный вес каждого критерия и реализуется связь с интегральным критерием технологичности. Весовые коэффициенты носят вероятностный характер и определяются на основании математической обработки результатов статистических исследований работающих мебельных производств, имеющих аналогичные технические и номенклатурные показатели.

В качестве критериев технологичности деталей можно использовать следующие показатели:

– коэффициент серийности выпуска изделий  $(k_s)$ ;

– коэффициент унификации  $(k_u)$ ;

– коэффициент использования материала  $(k_{im})$ ;

– коэффициент геометрической и технологической сложности изготовления деталей  $(k_g)$ .

Приведенные затраты на изготовление изделия  $W$  функционально зависят от указанных критериев:  $W = F(k_s, k_u, k_{im}, k_g)$ . Для оценки технологичности деталей в позаказном промышленном

производстве может использоваться следующая последовательность действий. Первоначально выполняется разделение всех возможных вариантов деталей на группы в соответствии с общностью технологических процессов изготовления, используемого оборудования, габаритов и геометрических характеристик, используемых материалов, серийности изготовления. Примерами таких групп могут служить фигурные столешницы, профильные фасады ящиков, стеклянные раздвижные двери с пескоструйным рисунком и т.д. Для выбранной детали-представителя каждой группы необходимо определить коэффициент серийности по формуле [2]

$$k_c^p = \frac{F_d \cdot 60 \cdot \alpha}{G_v \cdot t_s},$$

где  $F_d$  – действительный фонд времени с учетом сменности работы производственного подразделения, час;  
 $\alpha$  – поправочный коэффициент,  $\alpha = 0,8 \div 0,9$ ;  
 $G_v$  – программа выпуска деталей за выбранный интервал времени;  
 $t_s$  – среднее штучное время изготовления детали по данным технологического процесса.

Коэффициент унификации характеризует удельный вес оригинальных компонент детали-представителя (сложные фигурные вырезы в панели, нетрадиционный рисунок витража и т.д.)

$$k_u^p = K_o / K_p,$$

где  $k_o$  – количество оригинальных компонент у детали-представителя;  
 $k_p$  – количество типовых компонент у детали-представителя.

Коэффициент использования материала (КИМ) рассчитывается как отношение суммы площадей полученных деталей-представителей к сумме площадей полноформатных листов

$$k_{im}^p = \frac{\sum_{i=1}^p S_i n_i}{\sum_{j=1}^q S_j m_j},$$

где  $S$  – площадь панели или полноформатного листа;  
 $n_i$  – количество деталей, получаемых при выполнении единичной операции раскроя материалов;  
 $m_j$  – количество полноформатных листов, раскраиваемых за одну операцию.

Коэффициент, характеризующий уровень геометрической и технологической сложности

изготовления детали-представителя, определяется отношением количества операций, требующих особой точности выполнения, и квалификации специалистов, к общему количеству операций

$$k_u^p = O_s / O,$$

Общая оценка технологичности любой детали, входящей в одну из выделенных групп, производится на основании имеющихся коэффициентов технологичности для деталей-представителей по формуле

$$k_t = \left(\frac{k_c^p}{k_c}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{k_u^p}{k_u}\right)^\beta \cdot \left(\frac{k_{im}^p}{k_{im}}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{k_g^p}{k_g}\right)^\delta$$

где  $k_t$  – коэффициент технологичности детали в данной группе;

$k_x^p$ ,  $x = \{c, u, im, g\}$  – один из перечисленных выше коэффициентов, рассчитанный для детали-представителя;

$k_x$ ,  $x = \{c, u, im, g\}$  – один из перечисленных выше коэффициентов, рассчитанный для оцениваемой детали;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – эмпирические показатели степеней при соответствующих отношениях.

Интегральная оценка технологичности изделия может быть рассчитана на основании имеющихся частных показателей технологичности входящих в нее деталей

$$k_{izd} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i},$$

где  $k_i$  – значение коэффициента технологичности  $i$ -ой детали;  
 $\alpha_i$  – удельный вес коэффициента технологичности  $i$ -ой детали;  
 $n$  – количество деталей в изделии.

Для повышения технологичности изделий реализуются технические и организационные мероприятия, основными из которых являются следующие:

- применение современных материалов, фурнитуры и технологий;
- автоматизация процессов проектирования и технологической подготовки производства;
- ограничение количества конструкторских и технологических решений без ущерба для индивидуальности изделий;
- применение типовых и групповых технологических процессов.

Уровень технологичности продукции непосредственно связан с ее качеством, поэтому он в концентрированном виде выражает возможнос-

ти предприятия по разработке и выпуску качественной и конкурентоспособной продукции.

Качество мебели определяется показателями исполнения, комфортабельности, эстетичности, надежности, прочности, жесткости, устойчивости, экологичности и безопасности [3, 4]. В зависимости от предполагаемых условий эксплуатации изделий у потребителя может меняться как состав показателей, так и вес каждого из них в интегрированном показателе качества. Каждый из этих показателей должен быть дифференцирован до получения единичного значения, которое легко измерить или определить экспертным путем. Для контроля качества изделий проводятся приемо-сдаточные, квалификационные и типовые испытания, а также испытания для проведения сертификации. На этапе конструирования изделия производится предварительный анализ показателей качества на основе расчетных формул или экспертных оценок в автоматизированном режиме. Полученные оценочные показатели верифицируются натурными испытаниями, на основе которых уточняются расчетные формулы и критерии экспертных оценок.

Показатели исполнения определяют степень соответствия выпускаемых предприятием изделий требованиям стандартов и других нормативных документов.

Показатели комфортабельности определяют удобство пользования мебелью, ухода за ней и размещения изделий в помещении. Они в значительной степени определяются размерами элементов мебели, обусловленными функциональными связями системы «человек – мебель». Эти связи проявляются в организации пространства, необходимого человеку в условных статических позах или движении в пределах оптимальных зон при различных функциональных процессах, в организации объемов хранилищ с учетом габаритов предметов, для размещения и хранения которых они предназначены, и в организации пространства, обусловленного проходами и планировочными параметрами помещений. Одной из основных задач проектировщика мебели является установление функциональных и габаритных размеров элементов и изделий мебели, непосредственно связанных с размерами человеческого тела.

Показатели эстетичности характеризуют мебель с позиции современных требований к форме и внешнему виду. Они характеризуются наибольшей субъективностью оценки, но в усло-

виях диктата потребителя приобретают большое значение.

Показатели прочности определяются в процессе испытаний путем нагружения деталей эксплуатационными нагрузками, определяемыми по формуле

$$Q = q \times \Psi [H],$$

где  $q$  – нормированная удельная нагрузка на единицу длины, площади или объема детали, зависящая от ее функционального назначения  $[H/\{m, m^2, m^3\}]$ ;

$\Psi$  – длина, площадь или объем детали,  $[\{m, m^2, m^3\}]$ .

Жесткость корпусного мебельного изделия оценивается относительным смещением несущих горизонтальных панелей основания при воздействии циклических горизонтальных нагрузок

$$L = L_i^n - L_i^0 [\text{мм}],$$

где  $L_i^n$  – смещение  $i$ -ой несущей панели после  $n$ -го цикла нагружения;

$L_i^0$  – смещение  $i$ -ой панели после первоначального нагружения.

Надежность подвесной мебели обуславливается сопротивлением вертикальным нагрузкам, действующим на выбранную фурнитуру. Она определяется параметрами самой фурнитуры, конструктивными особенностями ее применения и свойствами материала панелей. Оценка расчетной нагрузки производится по формуле

$$Q = \alpha(Q_{\text{экс}} + P) / N,$$

где  $\alpha$  – коэффициент запаса надежности;

$Q_{\text{экс}}$  – эксплуатационные нагрузки на изделие;

$P$  – вес изделия;

$N$  – количество элементов подвесной фурнитуры.

Из всех показателей качества наименее стабильными являются показатели исполнения. Их поддержка на требуемом уровне обеспечивается организацией контроля качества на всех этапах технологического процесса и его максимальной автоматизацией.

Оценка уровня технологичности мебельного изделия и его качественных показателей позволяет на основании анализа математической модели в процессе конструирования и технологической подготовки производства значительно улучшить технико-экономические параметры продукции. Для реализации этой возможности требуется разработка соответствующего программного

инструментария, способного интегрироваться в действующие САПР корпусной мебели.

### Библиографический список

1. Горощенко, Л.Г. Анализ динамики развития российского рынка мебели / Л.Г. Горощенко // Мебельный мир. – 2006. – № 4(18). – С. 4–6.
2. Вороненко, В.П. Проектирование машиностроительного производства: учебник для вузов / В.П. Вороненко,

- Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе; под ред. чл.-корр. РАН Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2006. – 380 с.
3. Барташевич, А.А. Конструирование мебели: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и дизайн мебели» / А.А. Барташевич, С.П. Трофимов. – Мн.: Современная школа, 2006. – 336 с.
4. Штернберг, В. Трио в системе качества / В. Штернберг // Фабрика мебели. – 2005. – № 3. – С. 84–85.

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СОРТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИЦИРОВАНИЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ

О.И. ШАКО, *асп. каф. технологии лесопиления и деревообработки МГУЛ*

Для традиционных технологий лесопиления процесс сортирования пиловочного сырья заключается в распределении бревен в соответствии с их параметрами по сортировочным группам (классам), они накапливаются в определенном подступном месте (кармане). Бревна каждой группы раскраиваются затем одним поставом.

В условиях применения гибких технологий лесопиления сырье сначала сортируется на малое число групп (2–4) или не сортируется совсем. Бревна каждой укрупненной группы раскраиваются затем регулируемым поставом. При поступлении бревна на распиловку оно должно быть классифицировано (отнесено к определенной группе по его параметрам) с целью выбора и настройки соответствующего постава.

При сортировании и классифицировании пиловочного сырья по размерам бревен необходимо обеспечить высокую эффективность раскроя, не допуская выхода некондиционной пилопродукции, прежде всего из-за обзола обрезных досок. Алгоритмы сортирования и классифицирования пиловочного сырья идентичны.

Нижнюю границу размеров бревен в каждой группе следует выбирать исходя из следующих условий:

1) размеры крайних боковых досок по ширине и длине должны быть не ниже заданных минимальных;

2) должна обеспечиваться полная длина досок, вписанных в пропиленную пластъ бруса (при раскрое с брусровкой) или попавших в пифагорическую зону бревна (при раскрое вразвал).

Согласно теории раскроя пиловочного сырья для модели бревна как усеченного парабо-

лоида вращения второго порядка получены следующие формулы для определения ширины  $b$  и длины  $l$  крайних досок [1]

$$b + y_b = \sqrt{\frac{D^2 - M^2}{3}}, \quad (1)$$

$$l = \frac{2}{3}L \frac{D^2 - M^2}{D^2 - d^2}, \quad (2)$$

где  $D$  – комлевой диаметр бревна;

$d$  – вершинный диаметр бревна;

$L$  – длина бревна;

$M$  – охват диаметра бревна поставом;

$y_b$  – усушка крайних досок по ширине.

Ширина пропиленной пласти бруса  $M_y$  для вписывания центральных и сердцевинных досок равна

$$M_y = \sqrt{d^2 - H^2}, \quad (3)$$

где  $H$  – толщина выпиленного бруса с учетом усушки.

Ширина пифагорической зоны бревна определяется по формуле

$$M_y = \sqrt{1,5d^2 - 0,5D^2}. \quad (4)$$

В лесопильном производстве могут быть использованы следующие алгоритмы сортирования и классифицирования пиловочного сырья по размерам бревен:

I) по вершинным диаметрам и длинам бревен;

II) по вершинным диаметрам бревен;

III) по вершинным диаметрам бревен с учетом их длин;

IV) по комлевым диаметрам бревен;

V) по комлевым и вершинным диаметрам бревен;

VI) по диаметрам бревен посередине бревна.

Алгоритм I является самым информативным, он обеспечивает наиболее высокую эффективность раскроя бревен. Символически его можно записать в виде

$$\begin{aligned} d_{ij}^n &\leq d_{ij} < d_{ij}^e; i = 1, \dots, N; \\ L_{ij}^{ном} &\leq L_{ij} < L_{ij}^{ном} + \Delta; i = 1, \dots, E; \end{aligned} \quad (5)$$

где  $d_{ij}$  – диаметры бревен в  $i$ -м в диапазоне диаметров для  $j$ -й группы бревен по длине;

$d_{ij}^n, d_{ij}^e$  – соответственно нижняя и верхняя границы диаметров в  $i$ -м диапазоне для  $j$ -й группы бревен по длине;

$L_{ij}$  – длины бревен  $j$ -й группы в каждом  $i$ -м диапазоне их диаметров;

$L_{ij}^{ном}$  – номинальная длина бревен в  $j$ -й группе;

$\Delta$  – стандартный интервал изменения длины досок.

Этот алгоритм потребует большого количества групп сортирования, увеличит капитальные вложения и эксплуатационные затраты. Например, в диапазоне вершинных диаметров бревен 14–60 см при сортировании по четным диаметрам и в диапазоне длин бревен 4–7 м с интервалом сортирования 0,25 м число сортировочных карманов составит 288.

В настоящее время для традиционных технологий лесопиления чаще всего используют алгоритм сортирования II по вершинным диаметрам бревен. В одну сортировочную группу с заданным диапазоном вершинных диаметров попадают бревна разных длин, которые раскраиваются одним поставом. Он описывается следующим образом

$$d_i^n \leq d_i < d_i^e; i = 1, \dots, N. \quad (6)$$

Тогда число градаций при сортировании бревен по четным диаметрам не превысит 24. Будем рассматривать этот алгоритм как базовый и относительно него выявлять эффективность остальных алгоритмов.

Пусть при распиловке вразвал или с брусковой бревна сортируются по вершинному диаметру и не предъявляется требование получения досок полной длины. При этом для среднемерного сырья нижняя граница диапазона вершинных диаметров обычно рассчитывается исходя из обеспечения допустимой минимальной ширины крайней боковой доски  $b_{\min}$  по формуле, выведенной из соотношения (1).

$$d_i^n \geq \sqrt{M_i^2 + 3(b_{\min} + y_b)^2} - sL, \quad (7)$$

где  $s$  – средний сбег бревна,  $s = (D - d) / L$ .

Расчет выполняется для самого короткого бревна, полученный минимальный диаметр обобщается на все длины. На рисунке *a* условно представлены границы диапазонов сортирования бревен по вершинным диаметрам, область сортирования имеет вид прямоугольника 0123.

Известно, что с ростом длины бревен коэффициент выхода пиломатериалов снижается. С увеличением длины бревна граница обеспечения минимальной ширины боковых досок смещается к меньшим диаметрам бревен (пунктирные линии на рисунке *a*). Тогда очевидно, что с увеличением длины бревен можно переходить к меньшим диаметрам бревен, раскраиваемых тем же поставом. При этом для бревен больших длин с меньшими диаметрами коэффициент выхода пиломатериалов будет увеличиваться.

Возникает возможность использования резерва повышения эффективности раскроя, если предусмотреть для данной группы сортирования переход на меньшие диаметры бревен с ростом их длины. Рассмотрим алгоритм сортирования бревен III по вершинным диаметрам с учетом их длин.

Он имеет вид

$$\begin{aligned} d_{if}^n &\leq d_{if} < d_{if}^e; i = 1, \dots, N; \\ L_{if}^{\min} &\leq L_{if} < L_{if}^{\max}; i = 1, \dots, F, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $L_{if}$  – длины бревен, предусмотренные в  $f$ -й зоне длин для  $i$ -го диапазона диаметров;

$L_{if}^{\min}, L_{if}^{\max}$  – соответственно минимальная и максимальная границы  $f$ -й зоны длин бревен.

Пусть для двух зон длин бревен рассчитаны границы диаметров, как это показано на рисунке *a*. При сортировании согласно расчетам бревна с размерами по длине  $L_{\min} \leq L_{i1} < L_0$  попадут в интервал диаметров  $d_i^n \leq d_i < d_i^e$ , а более длинные, во второй зоне с границами  $L_0 \leq L_{i2} < L_{\max}$  – в интервал  $d_i^0 \leq d_i < d_{i+1}^0$ .

Тогда бревна, попавшие в область *A*, перейдут из предыдущей сортировочной группы и будут распилены более выгодным поставом со средним коэффициентом выхода пиломатериалов  $k_i$ . Бревна, попавшие в область *B*, перейдут в последующую сортировочную группу и также будут распилены более выгодным поставом.

Теоретическое приращение коэффициента выхода  $\Delta k_i$  для  $i$ -го диапазона сортирования по алгоритму III по сравнению с алгоритмом сортирования II можно определить как разность коэффициентов выхода  $k_{iA}$  и  $k_{iB}$  с весовыми долями, соответствующими относительным площадям областей *A* и *B* (9).

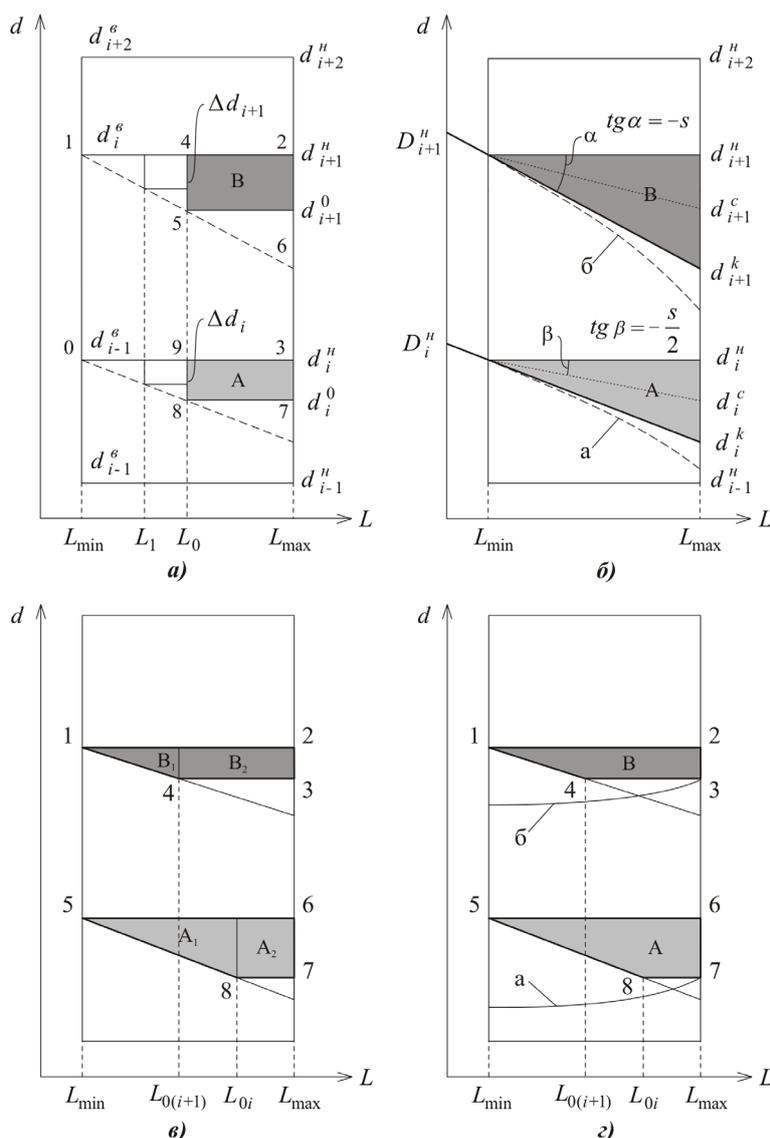


Рисунок. Графическая интерпретация алгоритмов сортирования и классифицирования пиловочного сырья по размерам бревен

$$\Delta k_i = \frac{(L_{\max} - L_0)}{\Delta L(d_{i+1}^n - d_i^n)} (\Delta d_i k_{iA} - \Delta d_{i+1} k_{iB}), \quad (9)$$

где  $\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$ ;

$L_{\min}, L_{\max}$  – соответственно минимальная и максимальная длина распиливаемых бревен.

Также можно предусмотреть три или более зон длин бревен, тогда в формулу (9) будут добавлены аналогичные слагаемые. Например, для трех зон приращение коэффициента выхода пиломатериалов будет определяться по формуле

$$\Delta k_i = \frac{(L_{\max} - L_0)}{\Delta L(d_{i+1}^n - d_i^n)} (\Delta d_{i0} k_{iA0} - \Delta d_{(i+1)0} k_{iB0}) + \frac{(L_{\max} - L_1)}{\Delta L(d_{i+1}^n - d_i^n)} (\Delta d_{i1} k_{iA1} - \Delta d_{(i+1)1} k_{iB1}). \quad (10)$$

Необходимо отметить, что здесь границы диаметров в каждом диапазоне определены расчетным путем для стандартного сбega бревен, его

реальная изменчивость может вызвать некоторый обзол выпиливаемых досок.

Для тех же условий проанализируем алгоритм сортирования бревен IV по их комлевым диаметрам [2].

Из формулы (1) получим для комлевого диаметра бревен ограничение по минимальной ширине крайних досок

$$D \geq \sqrt{M^2 + 3(b_{\min} + y_b)^2}. \quad (11)$$

Как видно, граничный комлевой диаметр не зависит от длины бревен. Поэтому, сортируя бревна по комлевому диаметру, независимо от длины бревна выполняем ограничение по ширине крайних досок. Границы диапазонов сортирования бревен по их комлевым диаметрам показаны в шкале вершинных диаметров наклонными линиями на рисунке б. Угол наклона линий  $\alpha$ , угловой коэффициент  $\text{tg} \alpha = -s$ . Наклонные линии отсе-

кают по оси ординат отрезки, равные значениям комлевых диаметров  $D_i^H$  и  $D_{i+1}^H$ . В любой точке на границе диапазонов сортирования бревен их комлевые диаметры постоянны, независимо от длин бревен. С увеличением длины бревен некоторая их часть, соответствующая площадям  $A$  и  $B$ , автоматически попадает в следующий диапазон вершинных диаметров с большим коэффициентом выхода.

Алгоритм сортирования и классифицирования бревен IV по их комлевым диаметрам запишется в виде соотношения

$$D_i^H \leq D_i < D_i^e; i = 1, \dots, N. \quad (12)$$

где  $D_i^H$  – соответственно, нижняя и верхняя границы комлевых диаметров бревен для  $i$ -й группы сортирования.

По сравнению с базовым алгоритмом сортирования II по вершинным диаметрам бревен алгоритм сортирования IV по комлевым диаметрам обеспечит теоретическое повышение коэффициента выхода пиломатериалов на величину

$$\Delta k_i = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{2(d_{i+1}^H - d_i^H)} (s_i k_i^{\text{комл}} - s_{i+1} k_i^{\text{верш}}). \quad (13)$$

Фактические колебания сбega бревен не приводят к изменению границ их комлевых диаметров, они рассчитываются по формуле (11).

Возможны случаи при диаметрах бревен более 30 см, когда границы диапазона вершинных диаметров определяются ограничением по допустимой минимальной длине крайних досок  $l_{\min}$  согласно формуле (2). Тогда, решив квадратное уравнение

$$D^2 - 3sl_{\min}D + 1,5s^2l_{\min}L - M_i^2 = 0,$$

найдем соотношения для нижней границы диаметров бревен

$$D_{2i}^H \geq 1,5sl_{\min} + \sqrt{M_i^2 - 1,5s^2l_{\min}(L - 1,5l_{\min})};$$

$$d_{2i}^H \geq 1,5sl_{\min} + \sqrt{M_i^2 - 1,5s^2l_{\min}(L - 1,5l_{\min})} - sL. \quad (14)$$

Взяв производную последней функции по длине бревна  $L$ , получим

$$d_{2i}^H = -\frac{1,5s^2l_{\min}}{\sqrt{M_i^2 - 1,5s^2l_{\min}(L - 1,5l_{\min})}} - s. \quad (15)$$

Следовательно, угловой коэффициент кривой, соответствующей ограничению по допустимой длине крайних досок, всегда отрицателен и возрастает по абсолютной величине при удлинении бревна. Это показано на рисунке 6 кривыми линиями (а) и (б). Таким образом, ограничение по допустимой длине крайних досок находится в зоне меньших диаметров, т.е. всегда будет вы-

полняться при сортировании бревен по комлевым диаметрам.

Теперь проанализируем комбинированный алгоритм сортирования и классифицирования бревен V по комлевым и вершинным диаметрам [2].

Пусть при раскросе пиловочного сырья брусом способом заданы размеры центральных и сердцевинных досок полной длины, вписанных в пропиленную плоть бруса. Тогда минимальный диаметр бревен может быть определен из соотношения

$$d_{3i}^H \geq \sqrt{M_{\text{центр}}^2 + H^2}, \quad (16)$$

где  $M_{\text{центр}}$  – ширина постанова для центральных и сердцевинных досок полной длины.

При этом согласно рисунку 6 ограничение («отсечка») по нижней границе вершинного диаметра бревен наступит при длине бревна  $L_{0i}$ . Найдем ее из равенства

$$\sqrt{M_i + 3(b_{\min} + y_b)} - sL_{0i} = \sqrt{M_{\text{центр}} + H_i^2};$$

$$L_{0i} = \frac{1}{s} \left( \sqrt{M_i + 3(b_{\min} + y_b)} - \sqrt{M_{\text{центр}} + H_i^2} \right). \quad (17)$$

В этом случае эффективность алгоритма сортирования бревен V по отношению к базовому алгоритму II снижается, так как площади областей  $A$  и  $B$  уменьшаются. Приращение коэффициента выхода пиломатериалов определяется по формуле

$$\Delta k = \left[ \frac{(L_{0i} - L_{\min})^2 s_i}{2(d_{i+1}^H - d_i^H) \Delta L} k_{iA1} + \frac{(L_{\max} - L_{0i})(L_{0i} - L_{\min}) s_i}{(d_{i+1}^H - d_i^H) \Delta L} k_{iA2} \right] - \left[ \frac{(L_{0(i+1)} - L_{\min})^2 s_{i+1}}{2(d_{i+1}^H - d_i^H) \Delta L} k_{iB1} + \frac{(L_{\max} - L_{0(i+1)})(L_{0(i+1)} - L_{\min}) s_{i+1}}{(d_{i+1}^H - d_i^H) \Delta L} k_{iB2} \right]. \quad (18)$$

Из соотношения (17) следует, что длина бревна  $L_0$  падает с ростом минимального диаметра  $d_3$  до величины  $L_0 = L_{\min}$ . В этом крайнем случае и при дальнейшем увеличении  $d_3$  алгоритм сортирования бревен по комлевым диаметрам IV становится неэффективным и превращается в алгоритм сортирования по вершинным диаметрам II.

Комбинированный алгоритм сортирования V описывается следующим образом

$$d_i^H \leq d_i < d_i^e; D_i^H \leq D_i < D_i^e; i = 1, \dots, N. \quad (19)$$

Рассмотрим случай, когда при раскросе бревен вразвал задано условие по обеспечению

полной длины центральных и сердцевинных досок, вписанных в пифагорическую зону бревна. Решим следующее квадратное уравнение, полученное на основе формулы (4),

$$d^2 - sLd - (0,5s^2L^2 + M_{\text{центр}}^2) = 0.$$

Тогда получим ограничение для нижней границы вершинных диаметров бревен

$$d_3^n \geq \sqrt{M_{\text{центр}}^2 + 0,75s^2L^2} + 0,5sL. \quad (20)$$

На рисунке 2 ему соответствуют, например, кривые (а) и (б). Взяв первую производную  $d'_3$  функции (20) по длине бревна, легко убедиться, что угловой коэффициент функции всегда положителен,

$$d'_3 = \frac{0,75s^2L}{\sqrt{M_{\text{центр}}^2 + 0,75s^2L^2}} + 0,5s. \quad (21)$$

Ясно, что расчеты минимального диаметра, удовлетворяющего ограничению по обеспечению полной длины центральных и сердцевинных досок, следует выполнять для бревен максимальной длины. При сортировании бревен по комлевому диаметру целесообразно устанавливать ограничение («отсечку») для вершинного диаметра, рассчитанного для максимальной длины бревен. Оно будет учитываться, начиная с длины бревна  $L_0$ ,

$$L_{0i} = \frac{1}{s} \sqrt{M_{i+1}^2 + 3(b_{\min} + y_b)^2} - \frac{1}{s} \sqrt{M_{\text{центр}}^2 + 0,75s^2L_{\max}^2} - 0,5L_{\max}. \quad (22)$$

В этом случае применяется комбинированный алгоритм V сортирования бревен, его эффективность по отношению к базовому алгоритму определяется из соотношения (18).

Алгоритм сортирования бревен VI по их срединным диаметрам находит применение на некоторых предприятиях Швеции. Он аналогичен алгоритму сортирования по комлевым диаметрам. При этом он обеспечивает угловой коэффициент наклона границ зоны сортирования, равный  $\text{tg}\beta = -s/2$  (границы зоны сортирования показаны пунктирными прямыми на рисунке б). При этом его эффективность равна

$$\Delta k_i = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{4(d_{i+1}^n - d_i^n)} (s_i k_i^{\text{комл}} - s_{i+1} k_i^{\text{серш}}). \quad (23)$$

При получении формул для приращений коэффициента выхода пиломатериалов  $\Delta k_i$  приняты допущения, что внутри каждого диапазона диаметров и длин бревен коэффициент выхода изменяется линейно, распределение диаметров и длин бревен как случайных величин подчиняется равномерному закону.

Для всех алгоритмов должно соблюдаться условие, которое обеспечивает непрерывность использования всех бревен с различными диаметрами. Тогда нижняя граница диаметров бревен для  $i$ -го постава равна верхней границе для предыдущего ( $i-1$ -го) постава, верхняя граница диаметров для  $i$ -го постава равна (с некоторым «зазором»  $\delta$ ) нижней границе для последующего ( $i+1$ -го) постава, т.е.

$$d_i^e = d_{i+1}^n - \delta; D_i^e = D_{i+1}^n - \delta; \\ i = 1, \dots, N; \delta = 0,1 \text{ см}. \quad (24)$$

Диапазоны диаметров бревен при их сортировании и классифицировании для последующего раскроя заданными поставами могут быть равны одному четному диаметру 2 см (иногда 1 см или 3 см), для крупномерного сырья – несколькими четным диаметрам.

Рассмотрим некоторые примеры расчетов эффективности алгоритмов сортирования бревен для заданного постава, где наглядно проявляются их различия.

Выберем постав (16 – 100 – 16) / (16 – 32 – 32 – 32 – 16), для которого примем следующие исходные данные:

- минимальная длина бревен – 4 м;
- максимальная длина бревен – 7 м;
- средний сбег бревен – 1 см/м;
- минимальная ширина досок – 75 мм;
- минимальная длина досок – 1,5 м.

При сортировании бревен по вершинным диаметрам (базовый алгоритм II) расчет выполняется для самого короткого бревна длиной 4 м, а полученные результаты обобщаются на все длины бревен. Минимальный расчетный диаметр равен 16 см, максимальный диаметр – 19 см, он равен минимальному диаметру для последующего постава (19 – 125 – 19) / (19 – 40 – 40 – 40 – 19). Средний коэффициент выхода пиломатериалов в области 0123 (рисунок а) будет равен 0,506.

При сортировании бревен по вершинным диаметрам с учетом длин бревен (алгоритм III) в диапазоне длин предусматриваются две зоны 4-5 м и 5,25-7 м. Тогда согласно расчетам в первой зоне минимальный и максимальный диаметры бревен остаются прежними, а во второй зоне снижаются на 1 см и составляют соответственно 15 и 18 см. Средний коэффициент выхода пиломатериалов в области А составит 0,556, а в области В – 0,4755 (рисунок а). Коэффициент выхода в полученной области 01456789 для сортирования и раскроя бревен равен 0,524 (9) (таблица).

Расчет коэффициентов выхода пиломатериалов

Алгоритм сортирования и классифицирования	II, базовый	III	IV	V	VI
Коэффициент выхода пиломатериалов	0,506	0,524	0,540	0,527	0,524
Приращение коэффициента выхода пиломатериалов	–	0,018	0,034	0,021	0,018
Коэффициент выхода пиломатериалов в области А	–	0,556	0,557	0,557	0,548
Коэффициент выхода пиломатериалов в области В	–	0,4755	0,490	0,477	0,476
Теоретическое приращение коэффициента выхода пиломатериалов	–	0,0177	0,0335	0,0220	0,0178

При сортировании бревен по комлевым диаметрам IV для бревен длиной 4 м диапазон вершинных диаметров остался прежним, а для длины 7 м минимальный и максимальный вершинные диаметры снизились соответственно до 13 и 16 см (рисунок, б). Расчетные минимальный и максимальный комлевые диаметры для всех длин бревен будут равны 20 и 23 см соответственно (таблица), здесь теоретическое приращение коэффициента выхода рассчитано по формуле 13.

Аналогично выполнен расчет для алгоритма VI по срединным диаметрам бревен, данные занесены в таблицу, здесь теоретическое приращение коэффициента выхода рассчитано по формуле (23).

Далее для вышеуказанного постава выдвинуто требование, чтобы центральные и сердцевинная доски толщиной 32 мм получались полной длины, а для последующего постава – центральные и сердцевинная доски толщиной 40 мм. Тогда целесообразно использование алгоритма сортирования бревен V по комлевым и вершинным диаметрам бревен. При этом оказалось, что в зоне длин бревен от 4 до 5 м автоматически задействован алгоритм сортирования по комлевым диаметрам, а начиная с длины 5,25 м – алгоритм сортирования по вершинным диаметрам бревен (рисунок, в). Ограничения для минимального и максимального вершинных диаметров равны 15 и 18 см соответственно. Данные расчетов коэффициентов выхода занесены в таблицу, теоретическое приращение коэффициента выхода для алгоритма IV рассчитано по формуле (18).

Анализ результатов расчетов по таблице показывает, что приращения коэффициентов выхода пиломатериалов, полученных по данным непосредственных расчетов коэффициентов в диапазонах сортирования бревен и по теоретическим формулам практически совпадают.

Сравнивая эффективность рассмотренных алгоритмов сортирования и классифицирования пиловочного сырья на данном примере, можно сделать следующие выводы.

Алгоритм IV по комлевым диаметрам бревен различных длин является наиболее эффективным, для данного примера он обеспечивает приращение коэффициента выхода пиломатериалов относительно базового алгоритма по вершинным диаметрам, равное 3,4 %. При использовании алгоритма V по комлевым и вершинным диаметрам при выпилке центральных и сердцевинных досок полной длины приращение коэффициента выхода пиломатериалов в нашем примере снижается до 2,1 %. Этот алгоритм эффективен также при сортировании и классифицировании бревен одной длины, так как будет учитываться их фактический сбег.

Таким образом, в результате анализа рассмотренных алгоритмов сортирования и классифицирования бревен по их размерам для практики лесопиления можно рекомендовать комбинированный алгоритм сортирования и классифицирования бревен по комлевым и вершинным диаметрам. Он претендует на универсальность. Для отдельных поставов он превращается в алгоритм сортирования и классифицирования по комлевым диаметрам, для других – по вершинным диаметрам, для третьих он функционирует как комбинированный. Технически этот алгоритм легко реализуется при помощи датчиков текущих диаметров бревна.

Приведенные в этой статье расчеты выполнены при помощи компьютерной программы «Дровосек», разработанной на кафедре технологии лесопиления и деревообработки МГУЛ [3].

#### Библиографический список

1. Аксенов, П.П. Технология пиломатериалов: учебник для вузов. Издание второе, переработанное и дополненное / П.П. Аксенов, Н.С. Макарова, И.К. Прохоров и др. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 480 с.
2. Фергин, В.Р. Сортирование пиловочного сырья по размерам бревен. В.Р. Фергин, О.И. Шако // Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. – Вып. 331. – 2005. – С. 82–87.
3. Шако, О.И. Модель и программа расчета поставов для раскрытия бревен на обрезные пиломатериалы заданных размеров / О.И. Шако // Научные труды МГУЛ. – 2005. – Вып. 326. – С. 37–41.

**АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

В.А. ЗЕЛИКОВ, доц. ВГЛТА, канд. техн. наук

На автомобильный транспорт в нашей стране приходится практически три четверти объема грузов, перевезенных всеми видами транспорта. В 2004 г. автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности перевезено 6,6 млрд т грузов, что на 1,5 % больше, чем в 2003 г.

На начало 2005 г. в Российской Федерации было зарегистрировано 33,8 млн транспортных средств. При этом в 2004 г. продолжились наметившиеся с 1998 г. значительные количественные изменения, выраженные снижением численности мототранспорта и ростом автопарка. Только за 2004 г. количество легковых автомобилей увеличилось на 3,5 %, грузовых автомобилей – на 2,2 %, автобусов – на 4,9 %, при этом численность мототранспорта сократилась на 11,2 %. Прирост легковых, грузовых автомобилей и автобусов за период с 1997 по 2004 гг. составил соответственно 37,3 %, 11,5 % и 21,9 %. Тем не менее, уровень моторизации в России значительно отстает от ведущих стран мира.

Вместе с ростом парка происходят постепенные изменения и его структуры. В 1997 г. численность мототранспорта уступала только легковым автомобилям и составляла 27,3 % от общего количества транспортных средств, в 2004 г. его доля снизилась до 12,1 %, уступив грузовым автомобилям (14,1 %). Самую многочисленную группу в автопарке России составляют легковые автомобили, причем их доля постоянно возрастает (1997 г. – 56,9 %, 2004 г. – 71,5 %).

Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием на 1 тыс. км<sup>2</sup> территории за последние 15 лет увеличилась с 38 до 43 км. Для сравнения в США – 600 км, Канаде – 300, Финляндии – 230, Германии – 1800 км. На 1 тыс. жителей плотность автомобильных дорог в России составила 5,3 км, тогда как в Финляндии – 10 км, США – 13 км, Франции – 15,1 км. Существующая отечественная дорожная сеть обеспечивает перемещение грузов со среднесуточной скоростью 300 км в сутки, а в странах Европы значение этого показателя превышает 1 тыс. км в сутки.

Негативные последствия роста уровня автомобилизации страны наиболее ярко проявились

в городах и особенно в мегаполисах, где сосредоточена максимальная численность транспортных средств. В настоящее время на легковой транспорт приходится свыше 20 % суммарного объема перевозок вместо ожидавшихся 10–15 %. Результат этого – существенная перегрузка дорожной сети в больших городах и мегаполисах России, которая способствует значительным экономическим и социальным потерям.

В 2004 г. уровень автомобилизации в целом по стране составил около 200 автомобилей на 1000 жителей, тогда как, например, в Москве его величина превысила 300. Структура и протяженность сети улиц и дорог городов создаются на основе генеральных планов развития, ориентированных на определенный уровень автомобилизации. В течение длительного времени в нашей стране приоритет в развитии транспортного обслуживания отдавался общественному пассажирскому транспорту. Расчетный уровень автомобилизации принимался от 60 до 100 авт./1000 жителей, исходя из которого создавалась дорожная инфраструктура современных российских городов. Современный уровень обеспечения потребности в движении горожан на собственном транспорте не превышает 20 %. Для удовлетворения их спроса требуется увеличение пропускной способности сети не менее чем в 5 раз, а емкости парковок – более чем в 10 раз.

По оценкам специалистов к 2020–2025 гг. в российских городах ожидаемый уровень автомобилизации в пределах 550±50 авт./1000 жителей, что в 1,5 раза выше уровня, достигнутого сегодня на большей части территории России, и в 5–8 раз выше уровня, в расчете на который создавалась улично-дорожная сеть. В связи с этим требуется пересмотр всей стратегии развития городов и городского транспорта с точки зрения организации движения транспорта и пешеходов.

Основными недостатками сложившейся дорожной инфраструктуры российских городов являются несовершенство схем улично-дорожной сети городов, малая удельная плотность магистральных и неразвитость сети местных улиц; низкая пропускная способность улиц и пересечений; совмещенное движение общественного

пассажира транспорта, легкового и грузового движения при отсутствии специализированных дорог и маршрутов для движения грузовых автомобилей; применение для регулирования движения устаревших методов и технических средств, ориентированных на движение транспортных потоков малой плотности; практическое отсутствие системы обеспечения парковок в городе; отсутствие системы информационного обеспечения городского движения. Проводимые мероприятия в области организации дорожного движения в городах в основном реализуются на отдельных участках и не увязаны в единую систему.

Объектом управления в системе дорожного движения является транспортный поток, состоящий из автомобилей, мотоциклов, автобусов. В то же время водители автомобилей при движении преследуют свои частные цели.

Теорией транспортных потоков занимались физики, математики, транспортники, экономисты. Но накопленный большой опыт исследования процессов движения и их практического применения недостаточен в связи со следующими свойствами.

Первой особенностью городских транспортных потоков является их нестационарность, причем наблюдаются колебания их характеристик по крайней мере в трех циклах: суточном, недельном и сезонном.

Второй особенностью является стохастичность транспортных потоков, характеристики которых допускают прогноз только с определенной степенью вероятности. Транспортный поток в первом приближении ведет себя как традиционный технический объект и описывается теми же характеристиками, что и поток жидкости или газа: скоростью, плотностью интенсивностью и составом потока, связи между которыми достаточно хорошо исследованы и описаны как с помощью дифференциальных уравнений, так и другими методами. Транспортный поток движется по транспортной сети, в свою очередь обладающей определенными характеристиками, допускающими более или менее строгое описание. Как правило, достаточно просто описывается топология транспортной сети, длины и пропускные способности ее участков, сложнее – состояние покрытия, для оценки которого не существует общепринятой шкалы и методики. Характеристики транспортной сети являются нестационарными. Состояние покрытия зависит от погодных условий, топо-

логия сети – от градостроительных мероприятий и просто от проведения дорожных работ. Естественно, транспортная сеть влияет на характеристики транспортных потоков, внося дополнительный элемент нестационарности. На транспортные потоки могут влиять разнообразные случайные события: дорожно-транспортные происшествия, выход пешеходов на проезжую часть и так далее.

Третьей особенностью дорожного движения как объекта управления является неполная управляемость, суть которой состоит в том, что даже при наличии у системы управления полной информации о транспортных потоках и возможности доведения управляющих воздействий до каждого водителя, эти воздействия в ряде случаев могут носить только рекомендательный характер. Эта особенность делает весьма проблематичным достижение глобального экстремума любого критерия управления.

К четвертой особенности относится множественность критериев качества управления. Дорожное движение в районе или городе, управляемое определенным образом, обладает некоторыми синтетическими характеристиками, среди которых могут быть названы: транспортная работа, задержка, скорость сообщения, число дорожно-транспортных происшествий, объем вредных выбросов атмосферу и так далее. Большинство перечисленных характеристик взаимосвязаны, но назвать одну из них главной или даже однозначно ранжировать их не представляется возможным.

Пятой особенностью дорожного движения как объекта управления является сложность и даже невозможность замера практически всех характеристик качества управления. Так, оценка величины транспортной работы требует либо наличия датчиков транспортных потоков на всех направлениях их движения, либо использования данных аэрофотосъемки, либо проведения трудоемкого ручного обследования. В России ситуация осложняется отсутствием надежных и недорогих технических средств (датчиков), предназначенных для получения данных о транспортных потоках.

И последнее, необходимо отметить принципиальную невозможность проведения масштабных натурных экспериментов в сфере управления дорожным движением. Эта невозможность предопределена, во-первых, необходимостью обеспечения безопасности движения, во-вторых, материальными и трудовыми затратами на прове-

дение эксперимента (изменение разметки и дислокации дорожных знаков) и, в-третьих, тем, что серьезные изменения в комплексной схеме организации движения затрагивают интересы большого количества людей – участников движения.

Из последних двух особенностей дорожного движения как объекта управления вытекает необходимость создания моделей дорожного движения, позволяющих прогнозировать последствия изменений, влияющих на характеристики транспортных потоков, и оценивать качество управления ими.

С помощью теории транспортных потоков можно решать задачи как оперативного характера, так и долгосрочного.

Одна из основных задач теории транспортных потоков – установить соотношение между переменными параметрами транспортного потока: интенсивностью, скоростью движения и плотностью. Следует отметить, что важным применением теории транспортных потоков является моделирование. Эта теория внесла много нового в сам процесс моделирования и в процесс построения логических моделей, представляющих собой основу более общих моделей.

В настоящее время существуют две группы теории транспортных потоков: вероятностные и динамические. Вероятностные теории описывают закономерности транспортных потоков, в которых еще возможно свободное маневрирование автомобилей. Движение автомобилей рассматри-

вается как случайный процесс, в котором возникновение каждого события не связано с другими. С помощью этих теорий устанавливают закономерности распределения интервалов между автомобилями, что позволяет использовать их для расчета пропускной способности пересечений и примыканий [1].

Динамические теории устанавливают закономерности между основными характеристиками транспортного потока: скоростью движения, плотностью и интенсивностью. При этом рассматривают потоки, в которых автомобили взаимодействуют между собой. При динамическом моделировании можно выделить два подхода: макроскопический и микроскопический. В основе первого подхода лежит теория движения жидкостей или газов. В этом случае моделируется динамика транспортного потока в целом. При втором подходе поведение среднего водителя распространяется на транспортный поток в целом. Динамические теории являются основой для расчета пропускной способности полосы движения.

Процесс построения математической модели движения транспортных потоков можно представить как последовательность этапов, представленных на рисунке.

Необходимо учитывать принципы построения и этапы, основными из которых являются анализ принятой модели, критическая ее оценка и оценка соответствия модели результатам натуральных экспериментов [2].

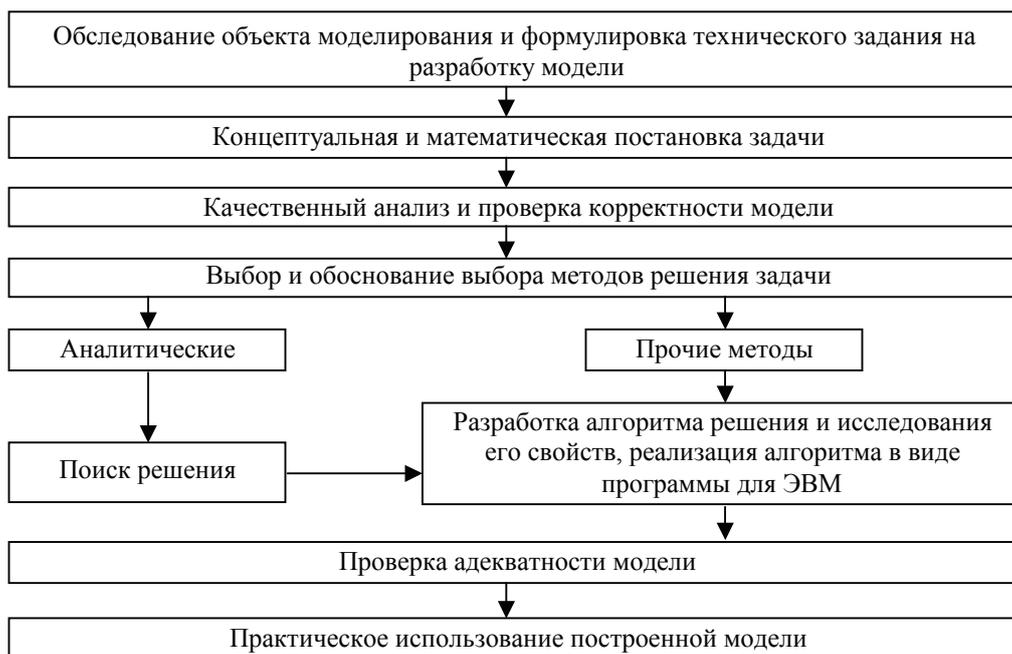


Рисунок. Этапы построения математической модели

Для определения интервалов между движущимися автомобилями применяется теория вероятностей. В теории вероятностей распределение интервалов между случайными событиями является основой для вывода расчетных формул при определении характеристик случайного процесса. От правильности выбора закона распределения интервалов между поступлением автомобилей (событий) зависит точность и достоверность получения конечных результатов. Для описания характеристик движения потока автомобилей как вероятностного процесса могут быть использованы следующие законы распределений: дискретные распределения; непрерывные распределения.

К дискретным относятся распределение Бернулли, биномиальное и отрицательное биномиальное распределения, гипергеометрическое распределение, распределение Пуассона и др. Характеристики этих распределений приведены в [3]. К непрерывным относятся нормальное распределение, распределения Граме-Шарлье, Вейбулла, Максвелла, Парето, Пирсона, Эрланга, гамма- и бета-распределения, распределения смеси, экспоненциальное (показательное) и гиперэкспоненциальное распределения и др. Статистики непрерывных распределений приведены в [4].

Приведенные законы распределения охватывают практически все возможные кривые

распределения, которые могут встречаться при изучении характеристик движения транспортно-го потока. Однако необходимо иметь в виду, что они получены при упрощенном толковании потока случайных событий. Поэтому необходима детальная проверка возможности применения этих распределений для описания движения потоков автомобилей [3].

Высокая степень интенсивности сети автомобильных дорог делает проблемы управления дорожным движением серьезными. Расширение возможностей дорожной сети запаздывает по отношению к росту транспортного спроса и приводит к повышению плотности потоков. Поэтому необходимо создать модель, представляющую реалистическую картину транспортного потока и доступную для систематического анализа в крупных городах.

### Библиографический список

1. Брайловский, Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
2. Бусленко, Е.Н. Моделирование сложных систем / Е.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
3. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
4. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения / В. Феллер. – М.: Мир, 1964. – Т. 1. – 498 с.

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УПРАВЛЯЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

А.В. КОРОЛЬКОВ, *проф. каф. прикладной математики МГУЛ, д-р физ.-мат. наук*

Система жидкость-газ, система двух и более несмешивающихся жидкостей, расслоенная по температуре или по плотности жидкость – это все сложные гидродинамические системы. Под сложной гидродинамической системой будем понимать сплошную среду, заключенную в некоторый замкнутый объем (сосуд, кювета, емкость и т.п.), имеющую объемную неоднородность по плотности. Сложность такой гидродинамической системы заключается в большом количестве степеней свободы, в большом количестве параметров, характеризующих ее состояние, и в зависимости этих параметров от массовых сил плавучести, определяемых силами тяжести.

Поведение таких систем в земных условиях (в постоянном поле сил тяжести) хорошо изучено и описывается такими физическими

явлениями, как тепловая и концентрационная гравитационная конвекция. Функционирование сложных гидродинамических систем в условиях реального космического полета, определяемых как условия, близкие к невесомости, осложнено отсутствием доминирующего воздействия силы тяжести и наличием внешних возмущающих факторов. Внешние возмущающие факторы на борту космического аппарата создают поле массовых сил, переменных во времени по направлению действия и по величине. Гидродинамическая система в таких условиях ведет себя весьма сложно. Поведение гидродинамических систем в условиях, близких к невесомости, – головная боль многих технологов и конструкторов. Создается впечатление, что движение жидкости беспорядочно и формируется случайно.

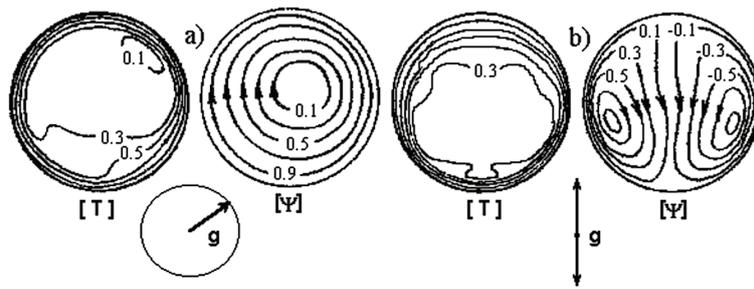


Рис. 1. Сравнение полей температур и функций тока при тепловой гравитационной конвекции в цилиндрическом сосуде ( $Gr = 10^6$ ,  $Pr = 1$ ) в поле вектора ускорения, имеющего одинаковые частотно-амплитудные характеристики, но различные фазовые сдвиги.

Владение хотя бы приближенной априорной информацией о характере и интенсивности движения в гидродинамической системе при различных режимах функционирования космического аппарата необходимо при планировании, подготовке и реализации различных технологических процессов.

### О состоянии, близком к невесомости

К источникам внешних возмущающих факторов, действующих на гидродинамическую систему, можно отнести взаимодействие космического аппарата с окружающей средой, колебания корпуса, вызванные случайными толчками при работе бортовых систем и деятельности экипажа, несовпадение места расположения гидродинамической системы и центра масс космического аппарата. Под действием внешних возмущающих факторов сам корпус космического аппарата и отдельные его части совершают колебания различной частоты и амплитуды. Ускорения, которые при этом возникают, называют остаточными ускорениями в состоянии невесомости [1]. Эти остаточные ускорения переменны во времени. В каждой точке космического аппарата суммарный вектор остаточных ускорений, характеризующий гравитационно-инерционное состояние в этой точке, испытывает эволюционное (непрерывное) изменение своей величины и направления. Эволюция вектора остаточных ускорений является важнейшим фактором, влияющим на процессы тепло- и массопереноса в условиях орбитального космического полета.

Не вдаваясь в подробности механики колебаний, вызванных внешними возмущениями, можно считать, что вектор остаточных ускорений представляет собой сумму элементарных микроускорений, причем каждое из элементарных микроускорений – вектор, изменяющий свою величину и направление во времени в некоторой фиксированной плоскости, описывая своим кон-

цом окружности, эллипсы или совершая возвратно-поступательные движения [1].

Конечно, это некоторая идеализация поведения реального вектора остаточных ускорений во времени [1]. Но благодаря этому допущению существенную информацию о поведении гидродинамической системы можно получить, анализируя роль каждой компоненты остаточного ускорения в отдельности.

### Общие свойства гидродинамических систем в условиях, близких к невесомости

Закон изменения вектора остаточных ускорений во времени весьма сложен, однако каждая гидродинамическая система чувствительна лишь к определенному диапазону частот и амплитуд. Этот диапазон зависит от определяющих параметров гидродинамической системы. Благодаря этому свойству поведение гидродинамической системы можно исследовать, моделируя не весь спектр возмущений, а лишь существенные компоненты суммарного вектора.

Важно заметить, что в диапазоне чувствительности нельзя ограничиваться заданием лишь частотно-амплитудных характеристик остаточных ускорений по осям координат, а необходимо воспроизводить эволюцию вектора остаточных ускорений в целом [2]. Этот важный факт иллюстрируется результатами расчетов, представленных на рис. 1. Показаны поля температур и функций тока в один и тот же момент времени при тепловой гравитационной конвекции в цилиндрическом сосуде (вектор ускорения изменяется в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра, нагрев жидкости осуществляется от стенок цилиндра). Частоты и амплитуды изменения компонент вектора ускорения в обоих случаях одинаковы, но различны фазовые сдвиги, так что в первом случае (а) суммарный вектор вращается, а во втором (б) – совершает изменения, действуя вдоль фиксированного

направления. Существенно отличаются не только структуры течения, распределения температур, но и интегральные характеристики (средняя температура и максимум функции тока).

### Вращение вектора ускорения

Остановимся на анализе ситуации, когда вектор остаточных ускорений равномерно вращается в фиксированной плоскости, сохраняя неизменную величину. В этом случае в качестве параметров, характеризующих изменение вектора ускорения во времени, можно использовать угловую скорость вращения  $\omega$  и величину модуля вектора  $\bar{g}$ . Сопоставляя период обращения вектора ускорения со временем «разгона» конвекции [3], получаем новый определяющий параметр – относительную угловую скорость

$$\Omega = \omega \cdot \sqrt{\frac{R}{g \cdot \Theta}}.$$

Здесь  $R$  – характерный размер системы,  $\Theta$  – конвективный параметр, зависящий от структуры гидродинамической системы и ее физических параметров [3]. Время «разгона» конвекции характеризует чувствительность гидродинамической системы к изменению вектора ускорения. Удобнее относительную угловую скорость выражать через безразмерные определяющие параметры задачи, такие как  $Pr$ ,  $Gr$ ,  $Ga$  и т. д.

При  $\Omega \ll 1$  гидродинамическая система очень чувствительна и успевает адаптироваться к текущему направлению вектора ускорения. Поведение гидродинамической системы в этом случае не отличается от поведения в постоянном поле вектора ускорения. При  $\Omega \gg 1$  массовые силы плавучести слишком малы, чтобы за период обращения вектора ускорения сколь-нибудь значительно изменилось положение гидродинамической системы. При таком изменении вектора ускорения гидродинамическая система ведет себя как в полной невесомости. А вот когда значение относительного углового ускорения порядка единицы ( $\Omega \approx 1$ ), гидродинамическая система может вести себя сложным образом. Возможно образование вихревых течений, смешение слоев, всплесков, образование включений, капель, пузырей. Все эти явления сопровождаются интенсивными течениями, возможны резонансные увеличения интенсивности движения [4]. Более точно границу чувствительности гидродинамической системы к изменению вектора ускорения можно оценить, используя механическую модель, представленную в работе [4].

### Общий случай

Пусть гидродинамическая система находится в реальном поле остаточных ускорений на борту космического аппарата. Из жесткостных характеристик космического аппарата, из его конструктивных особенностей, из особенностей траектории полета, режима функционирования и других сведений можно определить спектр элементарных микроускорений, составляющий суммарный вектор остаточных ускорений [5]. Затем следует выделить микроускорения с высокой относительной угловой скоростью вращения по отношению к данной гидродинамической системе ( $\Omega \gg 1$ ), со средней скоростью ( $\Omega \approx 1$ ) и с низкой скоростью ( $\Omega \ll 1$ ).

1. Если существует компонента микроускорения с относительной угловой скоростью вращения порядка 1 (по уточненным оценкам в диапазоне от 0.5 до 2 [4]), то параметры, характеризующие поведение гидродинамической системы, будут определяться именно этой компонентой. В этом случае интенсивность движения в гидродинамической системе максимально высокая. Поскольку время реакции системы на изменение вектора ускорения и период обращения вектора ускорения близки, возможны резонансные увеличения интенсивности движения жидкости. Вклад высокочастотных и низкочастотных компонент будет практически незаметен. Даже для относительно простой гидродинамической системы, такой как расслоенная по температуре жидкость, в этом случае сложно «рассчитать» в вычислительном эксперименте возможные структуры и интенсивности движений.

2. Высокочастотные компоненты, в отсутствие резонансных компонент, вызывают мелкошабные вихревые движения, причем, чем выше относительная угловая скорость, тем меньше размер вихрей и ниже интенсивность движения в вихре. Такие движения способствуют перемешиванию разнородных слоев в гидродинамической системе и интенсификации диффузионных процессов.

3. В отсутствие резонансных и высокочастотных компонент низкочастотные компоненты вектора остаточных ускорений вызывают движения, свойственные данной гидродинамической системе в земных условиях. «Медленное» (конечно, с точки зрения гидродинамической системы) изменение направления сил плавучести позволяет системе переориентироваться, сохраняя устойчивое положение.

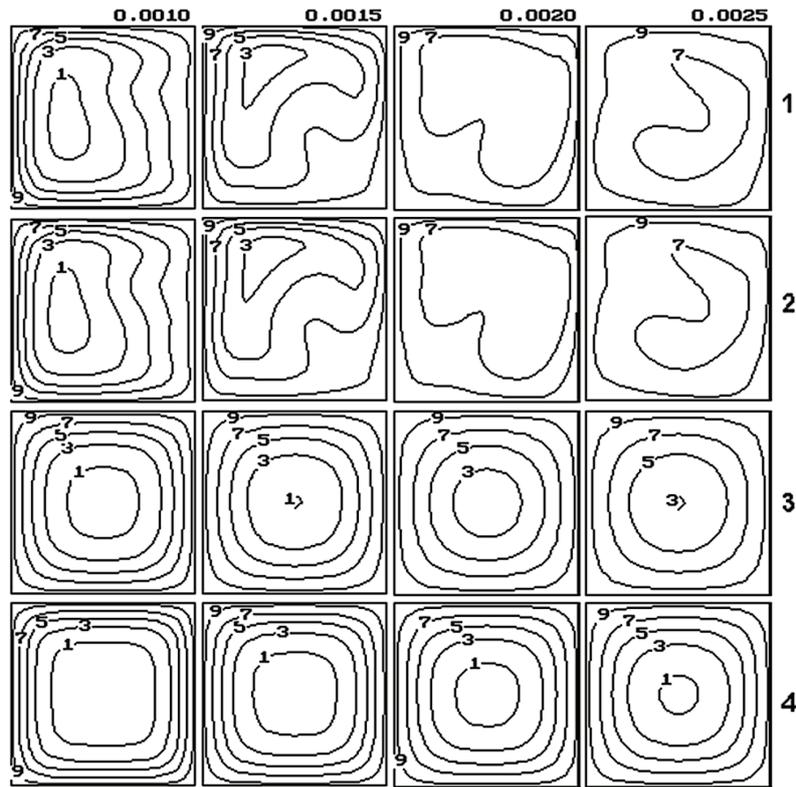


Рис. 2. Поля температур в различные моменты времени при различных законах изменения вектора ускорения;  $Gr = 10^6$ ;  $Pr = 2,93$ . Вектора  $\bar{g}_1$  и  $\bar{g}_2$  вращаются с относительными угловыми скоростями  $\Omega_1 = 1$  и  $\Omega_2 = 10$  соответственно. 1 –  $\bar{g} = \bar{g}_1 + \bar{g}_2$ ; 2 –  $\bar{g} = \bar{g}_1$ ; 3 –  $\bar{g} = \bar{g}_2$ ; 4 –  $\bar{g} = 0$ .

Проиллюстрируем эти свойства гидродинамической системы на простом примере. На рис. 2 показаны поля температур в различные моменты времени при тепловой гравитационной конвекции в цилиндрическом сосуде квадратного сечения (вектор ускорения остается в плоскости сечения, нагрев жидкости осуществляется от стенок цилиндра,  $Gr = 10^6$ ;  $Pr = 2,93$ ), полученные при различных законах изменения вектора ускорения во времени. В первом варианте вектор ускорения складывается из двух вращающихся компонент  $\bar{g} = \bar{g}_1 + \bar{g}_2$ , где  $|\bar{g}_1| = |\bar{g}_2|$ , вектор  $\bar{g}_1$  вращается с относительной угловой скоростью  $\Omega_1 = 1$ , а вектор  $\bar{g}_2$  – с относительной угловой скоростью  $\Omega_2 = 10$ . Во втором варианте отсутствует вторая (высокочастотная) компонента ( $\bar{g} = \bar{g}_1$ ). На фоне интенсивного конвективного теплопереноса вклад высокочастотной компоненты практически незаметен. Поля температур в третьем ( $\bar{g} = \bar{g}_2$ ) и четвертом ( $\bar{g} = 0$ ) вариантах показывают значительную интенсификацию диффузионного теплопереноса за счет слабых конвективных течений, вызванных высокочастотной компонентой, по сравнению с теплопроводностью.

Таким образом, сопоставив данные о гравитационной обстановке на борту космического

аппарата с параметрами гидродинамической системы, можно получить важную информацию о поведении гидродинамической системы.

### Библиографический список

1. Ветошкин, А.М. Анализ малых ускорений на борту орбитальных научных станций с точки зрения воздействия на гидродинамические системы / А.М. Ветошкин, В.Ф. Домашев, А.В. Корольков и др. // Космические исследования. – 1998. – Т. 36. – № 2. – С. 221–224.
2. Авдеевский, В.С. Исследование тепловой гравитационной конвекции в переменном поле вектора малых ускорений / В.С. Авдеевский, А.В. Корольков, В.С. Купцова // ПМТФ. – 1987. – № 1. – С. 54–59.
3. Корольков, А.В. Математическое моделирование поведения системы жидкость-газ под действием различных возмущающих факторов / А.В. Корольков // МЖГ. – 1997. – № 2. – С. 19–29.
4. Савичев, В.В. О влиянии эволюции вектора остаточных ускорений на гидродинамические системы / В.В. Савичев, А.В. Корольков, А.М. Ветошкин // IV российский симпозиум «Механика невесомости. Итоги и перспективы фундаментальных исследований гравитационно-чувствительных систем». 11-14 апреля 2000 года. Москва. Тезисы докладов. – М., 2000. – С. 47–49.
5. Гришин, С.Д. Исследование малых ускорений на борту орбитальной научной станции «Салют-6» / С.Д. Гришин, В.Б. Дубовской, С.С. Обыденников и др. // Технологические эксперименты в невесомости. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. – С. 6–14.

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ЧЕТКИХ И НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

И.М. СТЕПАНОВ, проф. каф. вычислительной техники МГУЛ, д-р. техн. наук

Любая вычислительная система за период разработки, а затем эксплуатации проходит несколько стадий жизненного цикла: разработка технического задания, проектирование, создание опытного (экспериментального) образца, отладка, испытания, эксплуатация. Нужно уметь оценивать надежность системы на каждой стадии жизненного цикла, чтобы принять соответствующие меры по ее повышению на более ранних стадиях разработки. Учитывая, что на различных стадиях процесса проектирования не все исходные данные (параметры) могут быть определены, модели разработаны для четких и нечетких условий. В настоящей работе рассмотрены четкие условия. Рассматриваемая вычислительная система не связана с интернетом, поэтому не подвержена заражению «вирусами».

Надежность вычислительной системы со структурой  $\sigma_{\text{КТС}}$  комплекса технических средств и структурой  $\sigma_{\text{КПС}}$  комплекса программных средств можно оценить вероятностью того, что в момент запуска комплекса программ на обработку  $t$  система находится в работоспособном состоянии, что при обработке комплекса программ объемом  $n_{\Sigma}$  не произойдет ни одного отказа в системе и не возникнет ни одной ошибки, что комплекс программ будет обработан за время  $T$ , не превышающее заданное директивное время  $T_{\text{Д}}$ . Для практических целей вполне можно считать, что эти вероятности независимы, поэтому надежность такой вычислительной системы может быть выражена как

$$P_{n_{\Sigma}}(t, \tau) = S(t) P_{\text{КПС}}(n_{\Sigma}) P_{T_{\text{Д}}}(\tau), \quad (1)$$

где  $S(t)$  – функция готовности системы, оцениваемая вероятностью того, что система в момент времени  $t$  находится в работоспособном состоянии; функция готовности системы  $S(t)$  может быть заменена коэффициентом готовности системы  $K_{\Gamma}$  ( $K_{\Gamma} = \lim_{t \rightarrow \infty} S(t)$ );

$P_{\text{КПС}}(n_{\Sigma})$  – вероятность того, что при выполнении заданного комплекса программ объемом  $n_{\Sigma}$  не произойдет отказа и не возникнет ошибки;

$P_{T_{\text{Д}}}(\tau)$  – вероятность того, что комплекс программ будет обработан за время  $T_{n_{\Sigma}} \leq T_{\text{Д}}$ .

В выражении (1) значения  $S(t)$  (или  $K_{\Gamma}$ ) и  $P_{T_{\text{Д}}}(\tau)$  определяются известными методами. Найдем выражение для  $P_{\text{КПС}}(n_{\Sigma})$ .

Величина  $P_{\text{КПС}}(n_{\Sigma})$  комплексно оценивает надежность технического, программного и информационного обеспечения. Рассмотрим сначала влияние аппаратных сбоев и отказов на выполнение комплекса программ  $n_{\Sigma}$ . Ошибка может появиться в любой  $u$  – фазе обработки: ввод, вывод, хранение, обработка в ЦП, передача по каналам связи, ошибка оператора. Оценим влияние на надежность обработки комплекса программ каждой в отдельности  $u$  – фазы. При этом будем считать, что выявленные схемами контроля сбой и отказы аппаратуры после ее восстановления не влияют на правильность обработки комплекса программ.

Можно считать, что вероятности появления сбоев и отказов аппаратуры при обработке программы распределены по биномиальному закону. Тогда вероятность появления в  $u$  – фазе ровно  $n$  ошибок, если они появились, будут выражены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} P(A_m^u) &= C_{n_u}^m p_u^m \cdot \bar{p}_u^{n-m}; \\ P(B_m^u) &= \sum_{i=m}^{n_u} C_{n_u}^i \cdot p_u^i \cdot \bar{p}_u^{n-i} \cdot C_i^m \bar{r}_u^m r_u^{i-m} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $A_m^u$  – событие, заключающееся в том, что в  $u$  – фазе появилось ровно  $m$  ошибок в работе аппаратуры;

$B_m^u$  – событие, заключающееся в том, что в  $u$  – фазе оказалось не выявленными ровно  $m$  ошибок;

$C_b^a$  – биномиальные коэффициенты,  $C_b^a = \frac{b!}{a!(b-a)!}$ ;

$n_u$  – объем данных, обрабатываемых в  $u$  – фазе;

$P_u$  – вероятность появления сбоя или отказа аппаратуры при обработке одной единицы информации в  $u$  – фазе, ( $\bar{p}_u = 1 - p_u$ );

$r_u$  – вероятность обнаружения соответствующей системой контроля каждой отдельной ошибки, возникшей в  $u$  – фазе, ( $\bar{r}_u = 1 - r_u$ ).

Вероятность отсутствия сбоев и отказов или, если они были, то все обнаружены, т.е. ве-

роятность того, что произошло одно из событий  $(A_o^u \cup B_o^u)$ , равна

$$P(A_o^u \cup B_o^u) = P(A_o^u) + P(B_o^u).$$

Переходя от отдельной  $u$  – фазы к полному циклу обработки данных, получим следующее выражение для устойчивости программного обеспечения к аппаратным сбоям и отказам

$$P_{\text{КПС}}(n_\Sigma) = \prod_{u=1}^{u=U} [P(A_o^u) + P(B_o^u)],$$

где  $n_\Sigma = \{n_1, n_2, \dots, n_u, \dots, n_U\}$ .

Биномиальное распределение при  $n \rightarrow \infty$  и  $p \rightarrow 0$  имеет своим пределом распределение Пуассона [1]. Поэтому можно записать

$$P(A_o^u) \cong e^{-n_u p_u}; \quad P(B_o^u) \cong [1 - P(A_o^u)] e^{-n_u p_u \bar{r}_u}.$$

Тогда выражение для оценки вероятности отсутствия влияния аппаратных сбоев и отказов на обработку заданного комплекса программ примет вид

$$P_{\text{КПС}}(n_\Sigma) = \prod_{u=1}^{u=U} [e^{-n_u p_u} + (1 - e^{-n_u p_u}) e^{-n_u p_u \bar{r}_u}], \quad (3)$$

где  $n_\Sigma = \{n_1, n_2, \dots, n_u, \dots, n_U\}$ .

Оценим теперь влияние правильности и отлаженности комплекса программ на правильность конечного результата. После отладки программы можно считать, что невыявленные программные ошибки независимы и проявляются с постоянной интенсивностью. Вероятность проявления ошибок в программе подчинена биномиальному закону, поэтому вероятность проявления ровно  $n$  ошибок равна

$$P_{\text{КПС}}(n_o) = C_n^m p_o^m \bar{p}_o^{n-m}, \quad (4)$$

где  $n_o$  – объем программы в командах ( $o$  – фаза, обработка программы в ЦП);

$P_o$  – частота проявления ошибок в программе.

Аналогично, переходя к распределению Пуассона, получим выражение для вероятности того, что в программе не проявится ни одна ошибка.

$$P_{\text{КПС}}(n_o) \cong e^{-n p_o}. \quad (5)$$

Вероятность отсутствия ошибок в отлаженной программе зависит от структурной сложности программ и от эффективности структурного тестирования. Количественно влияние этих факторов можно учесть введением в выражение обобщенного коэффициента

$$K = f(K_o, K_T),$$

где  $K_o$  – коэффициент структурной сложности программ;

$K_T$  – коэффициент эффективности структурного тестирования.

В этом случае с учетом сложности программы и эффективности ее тестирования выражение для надежности программы примет вид

$$P_{\text{КПС}}(n_o) = e^{-K n p_o}. \quad (6)$$

В различных источниках и структурную сложность программ, и эффективность тестирования определяют по-разному. В частности, структурную сложность программ можно определить цикломатическим числом  $z$  графа программы. Так в [2] принято, что программы средней сложности имеют цикломатическое число  $z = 10$ . В этом случае можно принять, что значения коэффициента структурной сложности программ лежат в пределах  $0 < K_o < \infty$  и  $K_o = 1$  при  $z = 10$ .

Значение коэффициента эффективности структурного тестирования можно принять либо  $0 < K_T \leq 1$  ( $K_T = 1$  при тестировании абсолютно всех маршрутов); либо  $0 < K_T < \infty$  ( $K_T = 1$  при тестировании только базовых маршрутов). В зависимости от этого обобщенный коэффициент  $K$  можно определить в первом случае как  $K = K_o (1 - K_T)$ , а во втором – как  $K = K_o / K_T$ .

В настоящей работе принят второй вариант. Могут быть введены и другие определения обобщенного коэффициента  $K$  и коэффициентов  $K_o$  и  $K_T$ , но при этом общий качественный характер зависимости  $P_{\text{КПС}}(n_o) = f(K_o, K_T, P_o, n_o)$  сохранится. Вообще количественные характеристики параметров  $K_o, K_T, P_o$  определить практически невозможно. Поэтому оценку надежности (корректности) программного обеспечения СВС целесообразно делать для нечетких условий. Такая оценка будет рассмотрена в следующей работе.

Окончательно выражение для определения вероятности получения правильного результата при обработке комплекса программ примет вид

$$P_{\text{КПС}}(n_o, n_\Sigma) = e^{-\frac{K_o}{K_T} n_o P_o} \prod_{u=1}^{u=U} [e^{-n_u p_u} + (1 - e^{-n_u p_u}) e^{-n_u p_u \bar{r}_u}], \quad (7)$$

где  $n_\Sigma = \{n_1, n_2, \dots, n_u, \dots, n_U\}$ ;

$n_o$  – объем программы в командах ( $o$  – фаза – обработка программы в ЦП).

Найденное выражение позволяет оценить вероятность получения достоверного результата при обработке комплекса программ  $n_c$  с учетом надежности аппаратуры и корректности самих программ. Таким образом, в разработанной модели учтены как характеристики технических средств ( $P_u, r_u$ ), так и характеристики программных средств ( $n_u, K_o, K_T$ ). Следовательно:

1) с увеличением объема программы при неизменных коэффициентах структурной сложности и эффективности тестирования ( $K_6 = \text{const}$ ;  $K_T = \text{const}$ ) надежность ее выполнения падает;

2) при том же объеме программы ее надежность падает с увеличением ее структурной сложности ( $K_6' > K_6$ ) при том же объеме (эффективности) тестирования ( $K_T = \text{const}$ );

3) при том же объеме программы и неизменной структурной сложности ( $K_6 = \text{const}$ ) ее надежность увеличивается с увеличением объема (эффективности) тестирования ( $K_T' > K_T$ ).

Характер зависимости надежности программы от внешних источников следующий:

1) с увеличением объема обрабатываемых данных  $n_u$  в  $u$  – фазе при фиксированных значениях частоты ошибок ( $P_u = \text{const}$ ) и эффективности контроля ( $r_u = \text{const}$ ) для этой фазы надежность обработки программы падает;

2) при том же объеме обрабатываемых данных  $n_u$  и при той же частоте ошибок ( $P_u = \text{const}$ ) надежность обработки программы увеличивается с увеличением эффективности контроля ( $r_u' > r_u$ );

3) при том же объеме обрабатываемых данных  $n_u$  и при той же эффективности контроля ( $r_u = \text{const}$ ) надежность обработки программы падает с увеличением частоты ошибок в  $u$  – фазе ( $P_u' > P_u$ ).

Полученные теоретические модели хорошо согласуются с практикой, с экспериментальными данными и могут быть использованы для инженерных расчетов комплексной надежности СВС на этапе проектирования.

#### Библиографический список

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Липаев, В.В. Отладка сложных программ: методы, средства, технология / В.В. Липаев. – М.: Энергоатомиздат, 1993 – 384 с.

## ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСА

И.М. СТЕПАНОВ, *проф. каф. вычислительной техники МГУЛ, д-р. техн. наук*

На IV Международной конференции, посвященной аэрокосмическим методам и геоинформационным технологиям в лесоведении и лесном хозяйстве (Москва, 17–19 апреля 2007 г.), подведены итоги последних лет работы в этой области и поставлены очередные задачи. Наиболее значительные результаты отмечены в [1].

Получили дальнейшее развитие зарубежные и отечественные космические многоцелевые системы, работающие как в оптическом, так и радиодиапазонах, ориентированные на изучение природных ресурсов Земли. По своему пространственному разрешению некоторые из них практически сравнялись с традиционной крупномасштабной аэросъемкой. Произошли определенные положительные сдвиги в практическом применении материалов аэрокосмических съемок и ГИС-технологий при решении задач лесного хозяйства. Получили дальнейшее развитие аэрокосмические методы в охране лесов от пожаров, базирующиеся на применении ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования. Разработана и начинает находить практическое применение система дистанционного лесопатологического мониторинга.

В 2005 г. разработаны и одобрены Советом Федерального агентства лесного хозяйства «Методические рекомендации по дистанционно-

му мониторингу организации и состояния лесопользования в лесном фонде Российской Федерации». На основе их развернуты в зоне основных промышленных лесозаготовок широкомасштабные работы по контролю за соблюдением правил рубок леса и выявлению незаконных рубок.

В 2005 г. работы по контролю за порядком лесопользования проведены на площади около 50 млн га, в 2006 г. – на 100 млн га, в 2007 г. планируется провести мониторинг на площади около 200 млн га, охватив полностью зону промышленных лесозаготовок. Двухлетний опыт работ подтвердил надежность и эффективность метода. В процессе проведения мониторинга выявлены многочисленные случаи нарушений лесного законодательства и правил организации и осуществления лесопользования.

Одной из приоритетных задач лесного хозяйства является слежение за своевременным и качественным восстановлением леса на вырубках, гарях и других не покрытых лесом и нелесных землях. Для решения этой задачи в 2006 г. были разработаны рекомендации по организационно-функциональной структуре системы дистанционного мониторинга лесовосстановления. Необходимо ее производственное апробирование и внедрение в практику.

Одной из новых отраслевых задач перво-степенной важности является разработка методических основ *государственной инвентаризации лесов*. Лесным кодексом определено, что «государственная инвентаризация лесов представляет собой мероприятия по проверке состояния лесов, их количественных и качественных характеристик». Она должна проводиться в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и землях иных категорий, наземными и аэрокосмическими способами. При этом, несомненно, исходя из площади лесов и их труднодоступности приоритетными средствами и методами должны стать аэрокосмические.

Необходимо дальнейшее развитие методологии применения аэрокосмических методов при инвентаризации и картографировании лесов. Прежде всего следует изменить отношение к использованию материалов аэрокосмических съемок со стороны руководителей лесоустроительных организаций, начальников партий, таксаторов и в полной мере использовать их информационные возможности, а не так, как это имеет место во многих случаях сейчас, когда снимки используются в качестве подсобного материала для визуального контурного и упрощенного таксационного дешифрования. При этом исполнители нередко работают, как уже отмечалось, с некачественными ксерокопиями снимков. При работах как в полевых, так и камеральных условиях должны использоваться лишь снимки высокого технологического качества соответствующего пространственного, спектрального и временного разрешения. В максимальной степени должны использоваться при дешифрации измерительные (автоматические, интерактивные) методы с использованием соответствующих современных приборов и средств компьютерной техники.

Для ускорения широкого внедрения космических технологий мониторинга лесов в практику лесного хозяйства, на всех уровнях его управления поставлена задача создания общедоступной отраслевой глобальной сети космического мониторинга леса. В узлах сети находятся центры космического мониторинга леса: главный центр и региональные центры. Связь пользователей с центрами космического мониторинга леса осуществляется через интернет. Таким образом, пользоваться услугами сети космического мониторинга леса можно из любой точки, которая подключена к интернету. Для удобства неподготовленных пользователей форма

обращения к сети упрощенная: задаются лесные массивы или земли лесного фонда своими координатами и задается перечень функционально-тематических задач, которые должны быть решены; пользователю выдаются полученные результаты в удобной для него форме, в виде функционально-тематических карт.

Функционально каждый Центр космического мониторинга леса решает все виды задач мониторинга:

- мониторинг лесных ресурсов и земель лесного фонда;
- лесопатологический мониторинг;
- лесопожарный мониторинг;
- специальные виды лесного мониторинга (в том числе мониторинг состояния лесов в зонах промышленных выбросов, радиационного загрязнения и других факторов);
- мониторинг малоосвоенных лесов;
- мониторинг лесов в рамках выполнения международных программ и соглашений.

Структурно в состав каждого Центра космического мониторинга леса входят отдельные технологические подразделения (технологические центры):

- приема-передачи снимков;
- обработки снимков;
- ГИС-лесокартирования;
- архивации снимков;
- космической лесоинвентаризации;
- подспутниковой валидации;
- консультационно-учебный;
- развития сети.

Ниже рассмотрены назначение и функционирование названных подразделений (центров).

Центр приема-передачи снимков. В настоящее время для мониторинга лесов широко используются спутниковые данные низкого, среднего и высокого разрешения [2]. Лесные службы используют снимки с зарубежных КА: TERRA, Landsat (ETM), SPOT, IRS, ERS(SAR), ENVISAT(ASAR) и снимки с российских КА: «Ресурс-01», «Метеор-3М», «Монитор – Э». Все более широко используются данные детального разрешения зарубежных КА: IKONOS, Quick-Bird, ALOS; российские потребители начали работы с данными КА «Ресурс-ДК». Помимо оптических данных для районов, покрытых облачностью большую часть года, используются данные SAR. Поставкой космических снимков для отечественного рынка занимаются как госу-

дарственные (ФГУП НЦ КМЗ, Госцентр «Природа»), так и коммерческие организации (ИТЦ Сканэкс, Совзонд и др.)

Выбор нужного спутника, выбор системы дистанционного зондирования Земли довольно сложная задача. Это объясняется тем, что помимо технических характеристик: разрешающей способности, траектории спутника, периодичности прохождения над заданным участком леса и др. параметров, необходимо учитывать высокую стоимость снимков. В связи с этим предполагается, что центр приема-передачи снимков будет выполнять работу по обслуживанию пользователей в выборе наиболее подходящих спутников. Наилучший вариант для пользователей такой, при котором пользователю достаточно задать координаты интересующего его участка леса и определить функционально-тематическую задачу.

Центр обработки снимков. К настоящему времени в нашей стране и за рубежом разработано большое количество различных по своим возможностям и по тематической направленности программ обработки сигналов.

Основной вклад в разработку программ внесли отечественные организации ИТЦ Сканэкс, ЗАО «Совзонд», «Ракурс», ФГУП НЦ КМЗ. Большой вклад в создание методов обработки космических снимков внесли организации Рослесхоза (ВНИИЛМ, «Центрлеспроект», «Севзаплеспроект», «Запсиблеспроект»), академические институты (ИКИ РАН, ИРЭ РАН, ЦЭПЛ РАН, ИЛ СО РАН), вузы (МГУЛ, СПбЛТА, МарГТУ).

Центр обработки снимков имеет доступ ко всем этим программам. В задачу центра входит выбор наиболее подходящих методов и программ из всего их многообразия для обработки снимков заданного пользователем участка леса, обработка этих снимков и выдача результатов в центр ГИС-картографирования для преобразования этих результатов в удобную для пользователя картографическую форму.

Одним из главных направлений работы центра обработки снимков станет разработка методов и средств максимально возможной программной автоматизации дешифрования снимков. В перспективе необходимо все работы по дешифрации снимков переложить на программы и освободить человека от визуальной обработки снимков, т.к. человек всегда вносит ошибки субъективного характера. Результаты дешифрования снимков должны быть объективными.

Центр ГИС-картографирования. Задача центра заключается в преобразовании результатов дешифрации снимков в удобную для пользователя картографическую форму.

В настоящее время на лесостроительных предприятиях разработаны и внедрены различные типы ГИС [3]: «ЛУГИС» (ФГУП «Севзаплеспроект»), «ЛесГИС» (ФГУП «Запсиблеспроект»), Topol (ФГУП «Центрлеспроект») и др.

Выбор формы представления результатов производится центром по согласованию с заказчиком. В будущем формы будут стандартными.

Перспективными направлениями развития ГИС-технологий в лесостроительных предприятиях являются:

- активизация дистанционных данных о лесном фонде;
- применение точных методов трансформирования снимков на основе цифровых моделей рельефа и цифровых стереомоделей;
- разработка единой автоматизированной системы обработки лесостроительной информации (СОЛИ «РОССИЯ»), совмещенной с цифровой картографией;
- создание нормативно-правовой базы стандартизации, аттестации и сертификации геоинформационной продукции;
- совершенствование программного обеспечения для компьютерной поддержки ведения отдельных направлений лесного хозяйства (лесовосстановление, охрана, и защита леса и т. п.), разработка программ по охотоустройству и парколесоустройству;
- создание многофункциональных программ обеспечения, позволяющих обеспечить поток агрегированной информации о лесном фонде для нужд административно-управленческих структур различного уровня.

Центр архивации снимков. Архивация снимков необходима для оценки состояния лесов и динамики изменения этого состояния на заданном интервале времени.

Для архивации снимков в ИКИ РАН разработана специальная система ведения долговременных архивов данных, которая обеспечивает возможность максимально автоматизированного сбора, предобработки данных, организации их удобного хранения и выборки для проведения обработки и анализа.

В центре архивации снимков для каждого пользователя создается своя база данных долго-

временного хранения снимков заданного участка леса. Информация из этой базы используется для оценки изменения состояния заданного участка леса на заданном интервале времени.

Обращение к базе данных и обработка данных реализуется программами центра архивации снимков, результаты обработки выдаются пользователю в удобной для него форме.

Центр космической лесоинвентаризации. Задача лесоинвентаризации относится к функционально-тематическим задачам, но в силу ее важности создается отдельный центр. Государственная лесоинвентаризация основана на сочетании использования наземных средств и дистанционных аэрокосмических методов. Центр космической лесоинвентаризации отвечает за космическую часть. Основой государственной инвентаризации лесов является мониторинг состояния лесов: оперативное отслеживание и регистрация текущих изменений в состоянии лесного фонда, лесопатологического состояния, анализ динамики основных характеристик, отображающих изменения в состоянии земель лесного фонда, составление прогнозов изменения состояния, вызванных хозяйственной деятельностью и стихийными факторами. Задача центра космической лесоинвентаризации заключается в автоматическом сборе космических данных из всех функционально-тематических задач, в которых имеются данные, относящиеся к лесоинвентаризации.

Центр подспутниковой валидации предназначен для экспериментальных наземных измерений исследуемых участков леса и сравнения результатов дешифрирования космических снимков этих участков с результатами наземных измерений. Для валидации снимков отводятся полигоны с характерными типами ландшафтов. Для привязки снимков к координатам Земли используются средства ГЛОНАСС.

Кроме обычных (наземных) видов валидации предполагается разработка методов автоматического программного сравнения космических снимков с более точными аэрофотоснимками и снимками, полученными с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Подспутниковая валидация снимков необходима не только для обеспечения высокого качества результатов работы глобальной сети космического мониторинга леса. Средства подспутниковой валидации, являясь средствами государственной сертификации космических снимков

и результатов их дешифрирования, придадут новое качество этим снимкам. Снимки и результаты их дешифрирования обретут статус государственных документов, обязательных для объективной оценки состояния лесов и их сертификации при государственной инвентаризации лесов.

Центр консультационно-учебный предназначен для предоставления технических консультаций неподготовленным пользователям по проблемам возможностей существующих методов и средств космического мониторинга леса и целесообразности использования этих методов и средств для решения конкретных задач пользователя. В задачи подразделения входит также оказание образовательных услуг в области космических методов мониторинга леса.

В задачи подразделения входит и проведение мероприятий по пропаганде методов космического мониторинга и технической помощи заинтересованным лицам и организациям в использовании этих методов и средств.

Центр развития сети предназначен для проведения работ по совершенствованию состава, структуры и функционирования глобальной сети космического мониторинга леса. Развитие сети будет идти по пути включения новых отечественных и зарубежных разработок в области космического мониторинга леса. Главная цель развития сети заключается в обеспечении высокого качества снимков и результатов их дешифрирования.

### **Заключение**

Глобальная сеть космического мониторинга леса создается как общедоступная. Космические снимки любого заданного участка земной поверхности может получить любой желающий. Форма запроса на получение снимков и их дешифрирование простая и удобная, ориентированная на неподготовленного пользователя. Так как глобальная сеть космического мониторинга леса подключена к интернету, то обращаться к ней можно с любого компьютера, подключенного к интернету, при этом пользователю не требуется никакого дополнительного программного обеспечения.

Немаловажное значение для пользователя имеет стоимость снимков. Цена снимков и тематических карт после их дешифрирования на несколько порядков ниже, если эти снимки используются для выполнения государственных программ. Так как глобальная сеть космического мониторинга леса является отраслевой, то для государственных лесо-

устроительных предприятий снимки и результаты их дешифрирования практически бесплатны.

Со временем снимки глобальной сети космического мониторинга леса должны обрести статус официальных государственных документов, являющихся обязательными при проведении государственной инвентаризации лесов РФ.

В работах по созданию глобальной сети космического мониторинга леса примут участие все заинтересованные организации как государственные, так и коммерческие. Особая роль отводится вузовской науке, к работе будут привлечены не только вузы, готовящие специалистов по лесному хозяйству, но и вузы, выпускающие специалистов по космическому приборостроению, и вузы, выпускающие специалистов по обработке снимков.

## ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЙТИНГОВ ПОРТАЛОВ

Г.И. ВОРОБЬЕВА, *Министерство образования и науки Российской Федерации, канд. техн. наук,*  
Т.Л. СЕДОВА, *«ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика»*

Существующие технологии ранжирования объектов, и в частности (проектов) [1], обладают существенным недостатком: субъективизмом лиц принимающих решения. Так, если для определения сравнительной оценки каждой пары образовательных порталов (проектов) используются экспертные оценки, то следует признать субъективизм последних. Более того, если мнения экспертов противоречивы, то задача может быть формально сведена к задаче на разрыв контуров ориентированного графа удалением минимального подмножества дуг [2, 12], что приводит к неоднозначности решения в конечном счете.

Другим часто используемым подходом является замена множества критериев одним суперкритерием [3], который представляет собой сумму взвешенных значений составляющих его критериев. И в этом случае не удастся избежать субъективизма, поскольку значение весовых коэффициентов определяется экспертами, либо лицами, принимающими решения [4]. Ниже предлагается использовать для этой цели метод эталонов, поскольку он свободен от вышеупомянутого субъективизма.

### Использование эталонов для сведения задач многокритериальной оптимизации к однокритериальным задачам

Ниже используются следующие обозначения и определения:

### Библиографический список

1. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве – состояние и перспектива // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (17–19 апреля 2007 г.) / В.И. Сухих – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 233 с.
2. Пермитина, Л.И. Перспективы использования данных ДЗЗ детального разрешения для лесного хозяйства // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (17–19 апреля 2007 г.) / Л.И. Пермитина, Т.Г. Куревлева и др. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 233 с.
3. Косицин, В.Н. Развитие ГИС-технологий в Российском лесоустройстве // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (17–19 апреля 2007 г.) / В.Н. Косицин – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 233 с.

$\vec{X}$  – вектор переменных;

$X_k$  – множество значений, принимаемых  $k$ -й переменной;

$F_i(\vec{X})$  –  $i$ -й критерий ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$I$  – множество индексов, используемых для обозначения критериев ( $|I| = n$ );

$\varphi_j(\vec{X})$  –  $j$ -е ограничение;

$K_i$  – величина, соответствующая наилучшему значению  $i$ -го критерия;

$W_i$  – величина, соответствующая наихудшему значению  $i$ -го критерия;

$G(X, U)$  – взвешенный ориентированный граф, множество вершин которого  $X$ , а множество дуг –  $U$ ;

$r(i, j)$  – вес дуги  $(i, j) \in U$ ;

$A(G)$  – множество контуров на графе  $G(X, U)$ ;

$a_i$  –  $i$ -й контур множества  $A$ ;

Очевидно, что значение каждого  $i$ -го критерия не лучше величины  $K_i$  и не хуже чем  $W_i$ :  $\forall i : K_i \succ F_i(\vec{X}) \succ W_i$ .

Далее будем полагать, что в общем случае формальная постановка многокритериальной задачи имеет вид

$$\begin{cases} \forall i : F_i(\vec{X}) \rightarrow \max (\min); \\ \forall j : \varphi_j(\vec{X}) \leq b_j; \\ \forall k : x_k \in X_k; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}. \end{cases} \quad (1)$$

Тогда величина  $K_i$  определяется решением однокритериальной задачи (2).

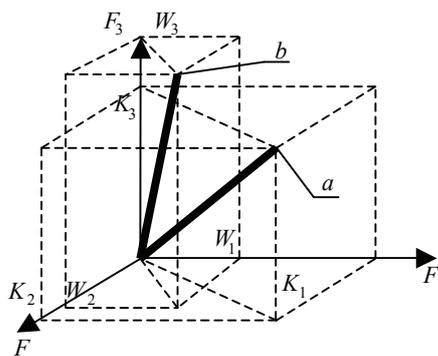


Рис. 1. Число критериев  $n = 3$ .

$$\begin{cases} K_i = F_i(\vec{X}) \rightarrow \max (\min); \\ \forall j : \varphi_j(\vec{X}) \leq b_j; \\ k : x_k \in X_k; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}. \end{cases} \quad (2)$$

Решая задачу (2) применительно к каждому критерию, получаем вектор

$$\vec{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_n\},$$

которому в  $n$ -мерном пространстве критериев соответствует точка «а» (рис. 1), отвечающая сочетанию наилучших значений  $F_i(\vec{X})$ .

Инвертируя цели оптимизации в (2), аналогично можно получить точку «b» (рис. 1) и отвечающий ей вектор критериев  $\vec{W} = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ , соответствующий сочетанию наихудших значений критериев  $F_i(\vec{X})$ ,  $i \in I$  в задаче (1). Очевидно, как вектору  $\vec{K}$ , так и вектору  $\vec{W}$  может соответствовать недопустимый вектор аргументов  $\vec{X}$

Далее исследуются подходы, позволяющие свести поиск решения системы (1) к решению однокритериальной задачи:

1. Ищется вектор переменных задачи (1), которому в пространстве критериев отвечает точка «m», отстоящая от «а» на минимальное расстояние  $\Delta(a, m)$ .

2. Ищется вектор переменных задачи (1), которому в пространстве критериев отвечает точка «n», отстоящая от «b» на максимальное расстояние  $\theta(b, n)$ .

### Формальные постановки и решение задач для случая однородных критериев

Если критерии однородны, то дистанция между точками в пространстве критериев определяется как расстояние в евклидовом пространстве [3], что далее используется для преобразования (1) к однокритериальной задаче. Так, поиску вектора переменных задачи (1), которому в пространстве критериев отвечает точка «m», отстоящая от «а» на минимальное расстояние  $\Delta(a, m)$ , отвечает минимизация функции

$$\Delta = \sqrt{\sum_i [K_i - F_i(\vec{X})]^2}.$$

Таким образом, задача (1) заменяется системой вида

$$\begin{cases} \Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_i - F_i(\vec{X})]^2} \rightarrow \min; \\ \forall j : \varphi_j(\vec{X}) \leq b_j; \\ \forall k : x_k \in X_k; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}. \end{cases}$$

Переходя к случаю, когда ищется решение, наиболее удаленное от наихудшего, систему (1) можно преобразовать к виду

$$\begin{cases} \theta = \sqrt{\sum_i [W_i - F_i(\vec{X})]^2} \rightarrow \max; \\ \forall j : \varphi_j(\vec{X}) \leq b_j; \\ \forall k : x_k \in X_k; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}. \end{cases}$$

### Случай неоднородных критериев

Рассмотренный выше подход оперирует евклидовыми расстояниями в однородном пространстве критериев. Неоднородность критериев, характеризующих порталы, ограничивает непосредственное применение описанного выше подхода, в этом случае можно воспользоваться гипотезой  $\lambda$ -компактности и технологией поиска в  $\lambda$ -пространстве, принятой в таксономии [5–7]. Можно показать, что существует возможность преобразовать исходные задачи, нормировав критерии. Последнее соответствует замене (1) системой вида

$$\begin{cases} \forall i : f_i(\vec{X}) = \frac{F_i(\vec{X}) - \min(K_i; W_i)}{\max(K_i; W_i) - \min(K_i; W_i)} \rightarrow \\ \rightarrow \max(\min); \\ \forall j : \varphi_j(\vec{X}) \leq b_j; \\ \forall k : x_k \in X_k; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, \end{cases}$$

значения всех критериев которой являются безразмерными и заключенными в диапазоне  $\{0-1\}$ .

### Использование метода эталонов для ранжирования порталов с помощью экспертных оценок

Ранжирование порталов методом экспертных оценок ниже базируется на следующей процедуре: каждый эксперт или группа экспертов оценивает пару порталов «с» и «d», пользуясь только определениями [3, 8, 9]: «портал «с» лучше портала «d», «портал «с» эквивалентен порталу «d», обозначаемыми далее соответственно как «с > d» и «с ≡ d». Целью является ранжирование порталов, т.е. определение такой перестановки  $n$

порталов  $\pi = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_n\}$ , для которой справедливо: если  $k < j$ , то  $i_k \succ i_j$ .

Одним из способов реализации такого ранжирования является использование языка и методов теории графов [10]: строится взвешенный ориентированный граф  $G(X, U)$ , вершины множества  $X$  которого соответствуют порталам, и существует дуга  $(i, j) \in U$ , если справедливо:  $i \succ j$ , причем вес этой дуги  $r(i, j)$  прямо пропорционален профессиональному рейтингу соответствующего эксперта или группы экспертов. Если граф  $G(X, U)$  содержит контуры, то это говорит о наличии противоречий в экспертных оценках. Наиболее простой способ избавиться от противоречий – отказаться от мнений некоторых экспертов, что сводится к задаче разрыва контуров на графах [10, 11].

Таким образом, задача ранжирования порталов может быть, в конечном счете, сведена к упорядочению вершин ориентированного графа без контуров. Процедура ранжирования вершин на каждой  $i$ -й итерации ( $i = 1, 2, \dots$ ) сводится к выделению вершин-источников, объекты, соответствующие этим вершинам, ставятся на  $i$ -е место в перестановке  $\pi$ , после чего выбранные вершины отбрасываются и, если граф не исчерпан, процедура повторяется на  $(i + 1)$ -й итерации. Аналогично можно построить поиск упорядочения  $\pi$  от конца к началу: в этом случае на каждой итерации выбираются и отбрасываются вершины-стоки.

Общим недостатком, присущим обеим процедурам, является возможность получения неоднозначного ответа – это происходит, если на какой-то итерации мощность множества выбранных вершин превышает единицу. Пример графа такого рода приведен на рис. 2 а, а результат применения первой из приведенных выше процедур – на рис. 2 б.

Из рис. 2.б следует, что для графа  $G(X, U)$  существует множество эквивалентных перестановок вершин, неоднозначно распределяющих порталы – претенденты на первые и последние места, например  $\pi_1 = \{1, 3, 2, 4, 5\}$ ,  $\pi_2 = \{3, 1, 2, 4, 5\}$ ,  $\pi_3 = \{1, 3, 2, 5, 4\}$ .

Для того, чтобы снизить неопределенность такого рода, введем в граф  $G(X, U)$  две эталонные вершины: вершину «а», которой соответствует фиктивный портал, лучший чем наилучшие, определенные ранее и соответствующие вершинам-источникам на  $G(X, U)$ , и вершину

«б», которой отвечает фиктивный портал, худший чем наихудшие реальные порталы, соответствующие вершинам-стокам на  $G(X, U)$ . Графически это соответствует следующему преобразованию исходного графа  $G(X, U)$ :

- добавляется вершина-источник  $x_a$ , дуги из которой заходят в вершины, являвшиеся источниками на  $G(X, U)$ ;
- добавляется вершина-сток  $x_b$ , в которую заходят дуги из вершин, являвшихся стоками на  $G(X, U)$ .

Модификация такого рода применительно к графу  $G(X, U)$ , изображенному на рис. 2 б, представлена на рис. 3.

Далее для простоты полагаем, что все эксперты равноценны, что позволяет ввести следующие определения:  $\forall (i, j) \in U : (i, j) = 1$ . Обозначая  $S_d(p, q)$  –  $d$ -й путь из  $p$ -й вершины в  $q$ -ю, можно каждой  $i$ -й вершине множества  $X/(a, b)$  присвоить вектор  $v(i)$ , первая компонента которого равна длине кратчайшего пути из вершины «а» в  $i$ -ю, а вторая компонента – длине кратчайшего пути из  $i$ -й вершины в вершину «б» (рис. 3).

Таким образом, каждый  $i$ -й объект теперь характеризуется только двумя критериями  $\Delta(i)$  и  $\theta(i)$ , заключенными в диапазоне:  $\forall i : 1 \leq \Delta(i) \leq 3$ ;  $1 \leq \theta(i) \leq 3$ . Это позволяет в пространстве критериев  $\Delta$  и  $\theta$  определить (рис. 2.4):

- координаты двух эталонов: наилучшего «а» с координатами (0,3) и наихудшего «б», с координатами (3,0) соответственно;
- положение  $i$ -й точки, отвечающей  $i$ -й вершине ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) графа  $G(X, U)$  после его модификации.

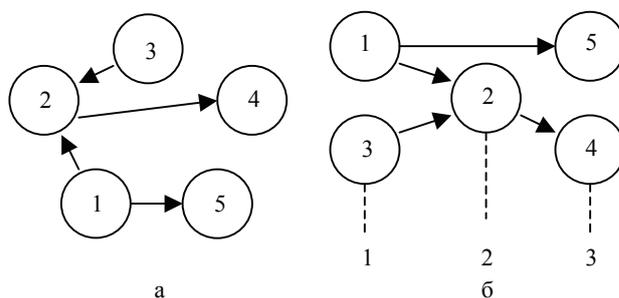


Рис. 2. Граф  $G(X, U)$  до и после упорядочения вершин

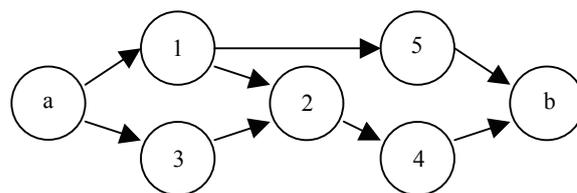


Рис. 3. Граф  $G(X, U)$  после преобразования

Т а б л и ц а

Таблица расстояний от каждого портала до эталонов «а» и «b».

$i$	$L(a, i)$	$L(b, i)$
1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{8}$
2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$
3	1	$\sqrt{13}$
4	$\sqrt{13}$	1
5	$\sqrt{8}$	$\sqrt{2}$

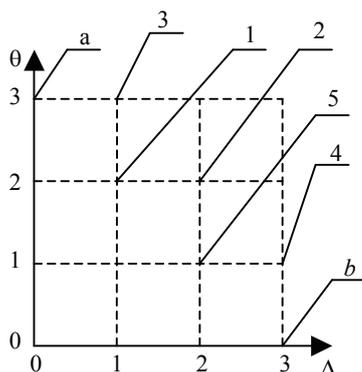


Рис. 4. Расположение эталонов и порталов в пространстве критериев

Пользуясь координатами вершин модифицированного графа  $G(X, U)$  в пространстве критериев (рис. 4), строим таблицу расстояний  $L(a, i) = \min S_d(a, i)$  и  $L(i, b) = \min S_d(i, b), i = 1, 2, \dots, 5$  (таблица)<sup>d</sup>. Легко убедиться,<sup>d</sup> что оптимальным упорядочением порталов в соответствии с таблицей является перестановка  $\pi = \{3, 1, 2, 5, 4\}$ . Таким образом, метод ранжирования образовательных

порталов позволяет избежать влияния человеческого фактора и одновременно снижает шансы на неоднозначность полученного решения.

**Библиографический список**

1. Остапук, С.Ф. Многокритериальная оценка программ научно-технической и инновационной направленности, «Инвестиции в России» / С.Ф. Остапук, Г.И. Воробьева. – М., 2006. – № 3. – С. 33–36.
2. Гроппен, В.О. Принципы принятия решений с помощью эталонов. / В.О. Гроппен // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 4. – С. 167–184.
3. Перегудов, Ф.И. Основы системного анализа / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: В.Ш, 1989.
4. Брук, Б.И. Методы экспертных оценок в задачах / Б.И. Брук, В.Н. Бурков // Тех. Кибернетика. – 1972. – № 3. – С. 29–37.
5. Загоруйко, Н.Г. Методы обнаружения закономерностей / Н.Г. Загоруйко. – М.: Советское радио, 1972. – 206 с.
6. Елкина, В.Н. Алгоритмы таксономии в информатике / В.Н. Елкина, Н.Г. Загоруйко, В.С. Тимеркаев // Информатика и ее проблемы. – Новосибирск: Наука, 1972. – № 4. – С. 31–37.
7. Елкина, В.Н. Количественные критерии качества таксономии и их использование в процессе принятия решений / В.Н. Елкина, Н.Г. Загоруйко // Вычислительные системы. – 1969. – Вып. 36. – С. 29–33.
8. Гермейер, Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука, 1971. – 384 с.
9. Седова, Т.Л. Принципы построения механизма поиска образовательных ресурсов на образовательных сайтах / Т.Л. Седова: Труды XI Всероссийской научно-методической конференции Телематика. – СПб., 2004. – Т. 1. – С. 116–117.
10. Берж, К. Теория графов и ее применения / К. Берж. – М.: Изд. Иностранной литературы, 1962.
11. Седова, Т.Л. Разработка критериев оценки образовательных порталов / Т.Л. Седова: Труды XII Всероссийской научно-методической конференции Телематика. – СПб., 2005. – Т. 1.
12. Vladimir N. Bourkov. Resolution de quelques problemes d'optimisation. Metra, vol. IX, № 1, 1970, pp. 129 – 139.

**ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СВОЙСТВАМИ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛУГРУППОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

Н.В. ФОМИЧЕВ, младший научный сотрудник, МИФИ

В криптографических приложениях важной задачей является определение линейной подполугруппы заданной полугруппы  $G$  преобразований пространства  $P^r$  над полем  $P$  характеристики  $q$ .

В [2] показано, что линейная подгруппа группы  $G$  содержится в пересечении четырех наследственных подмножеств группы  $G$ . В данной работе получено включение линейной подполугруппы  $SL(r, P)$  преобразований пространства  $P^r$  в пересечение пяти наследственных подмножеств. Для групп данная оценка улучшает известную оценку из [2].

Полугрупповой признак  $SL(r, P)$  в полугруппе  $\Xi(P^r)$  всех преобразований векторного пространства  $P^r$  назовем линейным признаком.

Пусть  $\Xi_0, \bar{C}, \Lambda^{[lv]}(P^r)$  и  $\Sigma(P^r)$  суть наследственные признаки в полугруппе, называемые стабилизатором нуля, множеством соответственно всех замкнутых сверху,  $p$ -нормально неподвижных и  $\bar{U}$ -стабильных преобразований пространства  $P^r$ .

Пусть  $T_x(g)$  есть дерево с корнем  $x$ , являющееся максимальным подграфом графа  $\Gamma_g$  таким, что  $x$  – циклическая вершина в  $\Gamma_g$ , и все ос-

тальные вершины из  $T_x(g)$  – ациклические. Пусть  $n_{x,i}(g)$  – количество вершин на  $i$ -м уровне дерева  $T_x(g)$ . Обозначим через  $H(q|r)$  множество преобразований  $g$  из  $\Xi(P^r)$  таких, что величина

$$\sum_{i=0}^k n_{x,i}$$

делится на  $q$  для любой циклической вершины  $x$  графа  $\Gamma_g$  и при любом  $k=1, \dots, h$ , где  $h$  – максимальная длина подхода в графе  $\Gamma_g$ .

**Теорема**

Справедливо включение:

$$SL(r, P) \subseteq \Xi_0 \cap \bar{C} \cap \Lambda^{[pv]}(P^r) \cap \Sigma(P^r) \cap H(q|r).$$

**Доказательство**

1. Так как свойство  $g(\theta) = \theta$  выполнено для всякого линейного преобразования  $g$  пространства  $P^r$ , то  $SL(r, P) \subseteq \Xi_0$ .

2. Замкнутость сверху следует из описанных в [1] свойств цикловой структуры естественной нормальной формы линейного преобразования.

3. Признаки  $\Lambda^{[pv]}(P^r)$  и  $\Sigma(P^r)$  определены на множестве циклических точек преобразования  $g$ . Рассмотрим  $g_c$  – ограничение линейного преобразования  $g$  на множество циклических точек  $P^r_c$ , тогда верно, что  $g \in \Lambda^{[pv]}(P^r) \cap \Sigma(P^r) \Leftrightarrow g_c \in \Lambda^{[pv]}(P^r_c) \cap \Sigma(P^r_c)$ . Линейная подстановка  $g_c$  принадлежит  $\Lambda^{[pv]}(P^r_c) \cap \Sigma(P^r_c)$  (теорема 3.1) [2], поэтому выполнено включение  $g \in \Lambda^{[pv]}(P^r) \cap \Sigma(P^r)$ .

4. Включение  $SL(r, P) \subseteq H(q|r)$  следует из описанных в [1] свойств структур подходов в графе линейного преобразования и его естественной нормальной формы.

В частном случае линейной подгруппы доказанное включение улучшает оценку из [2], так как замкнутые сверху преобразования содержатся во множестве унидоминантных преобразований.

**Следствие 1**

Если хотя бы один из признаков  $\Xi_0, \bar{C}, \Lambda^{[pv]}(P^r), \Sigma(P^r)$  или  $H(q|r)$  пуст в полугруппе  $G$ , то пуст и линейный признак.

**Следствие 2**

Если нуль пространства  $P^r$  лежит на подходе графа  $\Gamma_g$ , то линейный признак пуст в циклической полугруппе  $\langle g \rangle$ .

**Утверждение 1**

Если в графе  $\Gamma_g$  полугруппового преобразования  $g$  количество циклических точек не равно степени  $q$ , то линейный признак в циклической полугруппе  $\langle g \rangle$  пуст.

**Доказательство**

Согласно [1] любое линейное преобразование пространства подобно матрице, называемой естественной нормальной формой. Она состоит из двух блоков, расположенных на главной диагонали. Один блок описывает цикловую структур преобразования, а второй – структуру подходов в графе  $\Gamma_g$ . Из свойств естественной нормальной формы следует, что количество циклических точек равно степени характеристики поля  $P$ . Кроме того, количество циклических точек преобразования  $g^t$  инвариантно одинаково для любого  $t$ , поэтому количество циклических точек любого преобразования полугруппы  $\langle g \rangle$  также есть степень  $q$ .

Исследуем линейную подполугруппу генераторов  $[d, k]$ -самоусечения [3], построенных на основе линейного регистра связи (ЛРС) с обратной связью  $f$ , реализующего подстановку  $h$  пространства  $P^r$ . Если на выходе ЛРС ноль, то состояние  $x$  заменяется на  $h^d(x)$ , если единица – на  $h^k(x)$ . Продвижка  $\sigma$  ЛРС за один такт определяется формулой  $\sigma = d \cdot (f(x) \oplus 1) + k \cdot f(x)$ . Порождаемая генератором циклическая полугруппа есть  $\langle h^\sigma(x) \rangle$ .

Пусть генератор  $[d, k]$ -самоусечения имеет ненулевое начальное заполнение, а ЛРС имеет максимальный период.

**Утверждение 2**

Если преобразование  $g$  пространства  $P^r$  реализует генератор  $[t, 2t]$ -самоусечения и  $НОД(t, 2^r-1) = 1$ , то линейный признак в циклической полугруппе  $\langle g \rangle$  пуст.

**Доказательство**

В [3] показано, что граф  $\Gamma_g$  состоит из циклов и подходов. В условиях утверждения генератор имеет единственный цикл длины  $\lfloor 2/3 \cdot (2^r-1) \rfloor$ , что больше половины точек всего пространства  $P^r$ . Следовательно, по утверждению 1 линейный признак в циклической полугруппе  $\langle g \rangle$  пуст.

**Библиографический список**

1. Гилл, А. Линейные последовательные машины. Пер. с англ. / А. Гилл – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1974. – 288 с.
2. Фомичев, В.М. О линейной подгруппе группы преобразований некоторых генераторов гаммы с неравномерным движением // Вестник МГУ леса, препринт № 95. / В.М. Фомичев – М.: МГУЛ. – 2006. – 7 с.
3. Rueppel, R.A. When shift registers clock themselves. Lect. Notes in Comp. Sc. 304; Adv. in Cryptology: Proc. EuroCrypt'87. Berlin: Springer Verlag, 1988.

## ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СВОЙСТВАМИ ТРЕУГОЛЬНО-СТУПЕНЧАТЫХ ПОДСТАНОВОК ВЕКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Н.В. ФОМИЧЕВ, младший научный сотрудник МИФИ

Актуальной задачей криптографического анализа преобразований информации является исследование их совершенности [2], наличие которой затрудняет применение методов типа последовательного опробования. Несовершенные преобразования, как правило, являются треугольными или треугольно-ступенчатыми. Множество таких преобразований образует наследственный признак в группах подстановок [3] и полугруппах преобразований множества  $X^n$ , где  $X$  – конечное множество. В данной работе изучено обобщение свойства треугольно-ступенчатости.

Пусть  $\Phi(X)$  – группа всех подстановок множества  $X$ , и подстановка  $g \in \Phi(X)$  имеет цикловую структуру  $C(g)$ , записываемую таблицей чисел  $C(g) = (l_1[q_1], \dots, l_k[q_k])$ , то есть  $g$  имеет  $q_i$  циклов длины  $l_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ .

Обозначим через  $\text{Part}(X)$  решетку всех разбиений множества  $X$  на непустые блоки. Пусть  $\pi = (X_0, \dots, X_{m-1}) \in \text{Part}(X)$ , где  $X_0, \dots, X_{m-1}$  – блоки разбиения.

Подстановка  $g$  однозначно определяет разбиение множества  $X$  на блоки, из элементов которых составлены циклы подстановки  $g$ . Это разбиение обозначим  $\pi_c(g)$  и назовем  $g_c$ -разбиением.

Подстановка  $g$  множества  $X$  есть унарная операция на  $X$ . Относительно  $g$  некоторые разбиения из  $\text{Part}(X)$  (например,  $\pi_c(g)$ ) являются конгруэнциями. Принадлежность элементов  $x$  и  $x'$  множества  $X$  одному блоку разбиения  $\pi$  обозначим  $x \cong x'$ . Разбиение  $\pi$  назовем  $g$ -конгруэнцией, а подстановку  $g$  назовем  $\pi$ -конгруэнтной, если из  $x \cong x'$  следует  $g(x) \cong g(x')$ .

Получим условия, при которых подстановка  $g$  является  $\pi$ -конгруэнтной. Заметим, что треугольно-ступенчатые преобразования являются  $\pi$ -конгруэнтными, где разбиение  $\pi$  имеет специальный вид.

Пусть  $\Omega$  – конечное множество,  $\Omega^*$  – множество слов в алфавите  $\Omega$ ,  $l \in N$  и слово  $\omega = (\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{l-1}) \in \Omega^l$ . Длиной периода слова  $\omega$  назовем наименьший делитель  $\tau$  числа  $l$  такой, что  $\tau < l$  и  $\omega_i = \omega_{i+\tau}$  для  $i = 0, 1, \dots, l-\tau-1$ , если такой существует. В противном случае длиной периода слова  $\omega$  полагается  $l$ . Слова  $\omega$  и  $\omega'$  из  $\Omega^*$  циклически эк-

вивалентны, если они совпадают с точностью до циклического сдвига. Будем говорить, что слово  $\omega$  имеет неповторный период, если период слова  $\omega$  есть неповторная выборка из алфавита  $\Omega$ . Слова  $\omega$  и  $\omega'$  называются совместимыми, если они имеют такие неповторные периоды, которые либо циклически эквивалентны, либо не содержат общих элементов. Множество из двух и более слов совместимо, если любые два слова множества совместимы, а множество из одного слова с неповторным периодом полагается совместимым.

Пусть  $g_c$ -разбиение  $\pi_c(g) = (C_1, \dots, C_r)$ , где длина цикла  $C_j$  равна  $l_j$ ,  $j = 1, \dots, r$ . Рассмотрим отображение  $\omega_\pi: X \rightarrow Z/m$ , где  $\omega_\pi(x)$  для  $x \in X$  есть номер блока разбиения  $\pi$ , содержащего  $x$ . Отображение  $\omega_\pi$  индуцирует отображение  $\omega_\pi^*: X^* \rightarrow Z/m^*$ , где  $\omega_\pi^*(x_1, x_2, \dots) = (\omega_\pi(x_1), \omega_\pi(x_2), \dots)$ . Таким образом,  $\omega_\pi^*(C_j)$  есть слово длины  $l_j$  в алфавите  $Z/m, j \in \{1, \dots, r\}$ .

**Теорема 1.** Подстановка  $g$  является  $\pi$ -конгруэнтной тогда и только тогда, когда совместимо множество слов  $\omega_\pi^*(C_j), j = 1, \dots, r$ .

Данный критерий позволяет получить ряд необходимых условий  $\pi$ -конгруэнтности подстановки  $g$ , выраженных через характеристики цикловой структуры подстановки  $g$ , разбиения  $\pi$ , и через частотные характеристики слов  $\omega_\pi^*(C)$  для циклов  $C$  подстановки  $g$ . Проверка невыполнения этих условий для многих подстановок и разбиений требует существенно меньше вычислений, чем проверка условий критерия. Приведем пример.

Пусть  $q_{ij}$  – частота номера  $i$  в слове  $\omega_\pi^*(C_j)$ ,  $i = 0, \dots, m-1, j = 1, \dots, r$ , и равенство  $M(q_{0j}, \dots, q_{m-1j}) = (0[k_0], \dots, (m-1)[k_{m-1}])$  означает, что в слове  $\omega_\pi^*(C_j)$  номер 0 содержится  $k_0$  раз, ..., номер  $m-1$  содержится  $k_{m-1}$  раз.

**Утверждение 1.** Если подстановка  $g$  является  $\pi$ -конгруэнтной, то для частот  $q_{ij}$  выполнены свойства:

а)  $M(q_{0j}, \dots, q_{m-1j}) = (0[m-\tau_j], (l_j / \tau_j)[\tau_j]), j = 1, \dots, r$ ;

б) все ненулевые числа набора  $(q_{i_1}, \dots, q_{i_r})$  прямо пропорциональны длинам соответствующих циклов  $l_1, \dots, l_r, i = 0, \dots, m-1$ .

Обозначим  $B_{\beta_1, \dots, \beta_s}^{i_1, \dots, i_s}$  множество всех наборов из  $X^n$ , у которых значение компонент с номерами  $i_1, \dots, i_s$  фиксировано и равно  $\alpha_1, \dots, \alpha_s$  соответственно. При любом фиксированном наборе  $\{i_1, \dots, i_s\}$  система множеств  $\{B_{\beta_1, \dots, \beta_s}^{i_1, \dots, i_s}, (\alpha_1, \dots, \alpha_s) \in X^s\}$  образует множество блоков разбиения множества  $X^n$ , обозначим это разбиение  $R(i_1, \dots, i_s)$ .

Пусть  $T_\Delta(s, n)$  – множество треугольно-ступенчатых преобразований, у которых первые  $s$  координатных функций зависят от  $x_1, \dots, x_s$ .

Утверждение 2. Подстановка  $g$  множества  $X^n$  принадлежит  $T_\Delta(s, n)$  тогда и только тогда, когда  $g$  является  $R(1, \dots, s)$ -конгруэнтной.

### Библиографический список

1. Биркгоф Г. Теория решеток / Г. Биркгоф. – М.: Наука, 1984. – 567 с.
2. Фомичев В.М. Дискретная математика и криптология / В.М. Фомичев.. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2003. – 400 с.
3. Фомичев В.М. Исследование признаков в конечных группах и в группах подстановок // Математические вопросы кибернетики. Вып.14: Сборник статей / Под ред. О.Б. Лупанова / В.М. Фомичев. – М.: Физматлит, 2005. – С. 161–260.

## О НАДЕЖНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АППАРАТУРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*,  
В.М. ИСАЕВ, *ст. науч. сотр., начальник управления ГУП «22 ЦНИИИ Минобороны России», д-р техн. наук*

Источники вторичного электропитания (ИЭП) относятся к важнейшим компонентам обеспечивающей части радиоэлектронных средств, в том числе систем управления всевозможных объектов, и в значительной мере определяют их массогабаритные показатели, энергопотребление, эффективность функционирования, надежность и время готовности к работе. Они предназначены для электропитания функциональных узлов и блоков аппаратуры с заданными параметрами и уровнем качества электрической энергии (КЭЭ).

Процессы интеграции функций, выполняемых ранее отдельными дискретными элементами (трансформаторами, дросселями, изделиями активной и пассивной электроники, стабилизаторами и т.п.) в схемах вторичного электропитания, а также внедрение модульных принципов конструирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) привели к тому, что в 70-х годах прошлого века ИЭП стали фактически новым классом комплектующих изделий (электронных модулей электропитания). Основными отличительными особенностями современных ИЭП являются:

- однотипность выполняемых функциональных задач во всех видах радиоэлектронных средств (преобразование электрической энергии, стабилизация выходных напряжений, защита аппаратуры от электрических перегрузок, помехоподавление, гальваническая развязка входных и выходных цепей и др.);

- широкое применение типовых схемотехнических решений, а также унифицированной

элементной базы при создании требуемой номенклатуры этих изделий;

- возможность модульного построения и унификации габаритно-установочных размеров ИЭП, что позволяет упростить вопросы взаимозаменяемости в процессе эксплуатации.

Перечисленные особенности определили возможность развития ИЭП в качестве самостоятельного класса комплектующих изделий РЭА, на основе которых строятся разнообразные системы вторичного электропитания применительно к разрабатываемым объектам.

Введение в действие нового поколения комплексов государственных стандартов (КГС) «Климат-7» и «Мороз-6» заставляет пересмотреть свои взгляды разработчиков РЭА и поставщиков комплектующих модулей и элементов (в частности ИЭП) на вопросы задания и подтверждения требований по надежности. При этом задачи обеспечения требуемого уровня надежности ИЭП специального назначения необходимо решать параллельно с проведением работ по улучшению удельных характеристик этих изделий.

Широкое внедрение в практику создания РЭА стандартных электронных модулей, к которым в полной мере относятся модули ИЭП (причем межвидового назначения), приводит к необходимости ускорить процесс создания нормативной базы, регламентирующей требования и методы оценки соответствия требованиям к модулям на всех этапах жизненного цикла (от разработки до утилизации). Важнейшим моментом в этом процессе является обоснованное задание требований к надежности и

стойкости и обеспечение достоверной оценки соответствия установленным требованиям.

Разработка ИЭП с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, удовлетворяющих требованиям надежности, регламентированным государственными стандартами, – весьма сложная задача. Небольшой объем ИЭП влияет на теплоемкость и создает проблему отвода тепла, от которого напрямую зависит надежность комплектующих элементов ИЭП и модуля питания в целом.

Достижение высоких технико-экономических показателей ИЭП возможно при наличии соответствующей номенклатуры комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ) и гармонизированной с ними технологии производства аппаратуры. Однако современный этап развития РЭА вообще и ИЭП в частности характерен тем, что даже если ЭРИ в отдельности будут обладать превосходными функциональными характеристиками, то это еще не является гарантией обеспечения высоких технических показателей и надежности устройств, созданных на их основе. Причиной такого положения является возрастающее взаимовлияние конструктивных, функциональных и технологических параметров друг на друга при их совместном использовании, из чего вытекает необходимость формирования требований к ИЭП и ЭРИ с единых позиций [1].

Всю совокупность ЭРИ, используемых в ИЭП, можно разделить на четыре группы. К первой следует отнести силовые полупроводниковые приборы – транзисторы, диоды; ко второй – энергонакапливающие компоненты: дроссели, конденсаторы (к этой группе изделий можно условно отнести и трансформаторы по сходству решаемых проблем по номенклатуре дросселей); к третьей – функционально насыщенные схемы управления; к четвертой – резисторы, слаботочные полупроводниковые приборы и прочие элементы, не определяющие облик ИЭП.

Каждой из названных групп присущи как общие требования, так и частные.

Удельные энергетические показатели и показатели надежности ИЭП в большей степени зависят от общих требований, так как их полное согласование приводит к резкому снижению возможности обеспечения избыточности по массогабаритным показателям.

К основным требованиям общего характера можно отнести:

- необходимость повышения частотных свойств всех элементов, последовательно включенных в тракт преобразования и передачи мощности. Не имеет смысла снижать значения времени включения и выключения силового транзистора до 10–30 нсек, если магнитопровод трансформатора и дросселя не может работать на частотах более 100 кГц;

- повышение предельно допустимых температур нагрева ЭРИ до 125 °С или 150 °С. Это требование вытекает не только из условий эксплуатации, но и технологии групповой сборки;

- согласование габаритных размеров, особенно по высоте. Высота стандартного модуля питания менее 10 мм позволяет реализовать распределение системы вторичного электропитания, так как согласно особенностям построения базовых несущих конструкций (БНК) аппаратуры в этом случае может быть использован размерный шаг 12 мм;

- допустимость для групп ЭРИ единого метода влагозащиты, например, покрытие лаком;

- единые требования по спецвоздействиям;

- гарантированная гамма-процентная наработка в номинальных режимах не менее 100 тыс. час.

Согласованные конструктивные характеристики разнородных элементов при использовании групповой технологии монтажа на поверхность позволяют практически реализовать предельное значение коэффициента использования площади основания 0,75–0,8. Дальнейшее повышение плотности упаковки ЭРИ в ИЭП ограничиваются температурными режимами их применения.

С учетом этих требований обоснован процесс формирования требований по надежности ИЭП как сложных комплексированных устройств, состоящих из различных комплектующих ЭРИ [2].

По конструкции исполнению ИЭП могут выполняться в виде модулей 0, 1, 2 и 3 уровня разукрупнения. По «идеологии» построения модули ИЭП 0-го уровня являются невосстанавливаемыми изделиями и в части требований (особенно по надежности) относятся к ЭРИ, на которые распространяются требования КГС «Климат-7». ИЭП, выполненные в виде модулей 1, 2 и 3 уровней, ближе к функциональным частям РЭА, на которые распространяются требования КГС «Мороз-6».

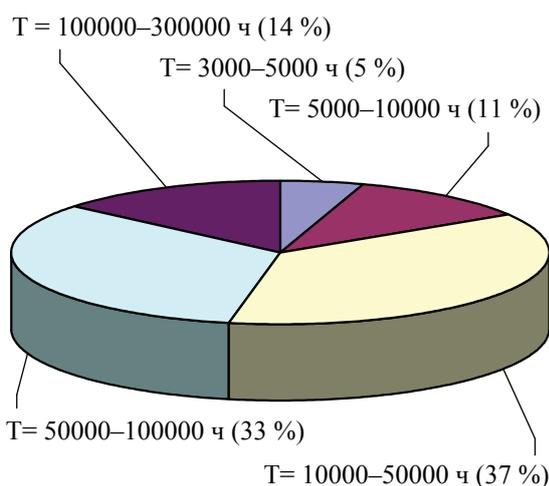


Рис. 1. Потребности ИЭП с непрерывным (или с перерывами) длительным характером функционирования в РЭА в зависимости от наработки до отказа T (на отказ)

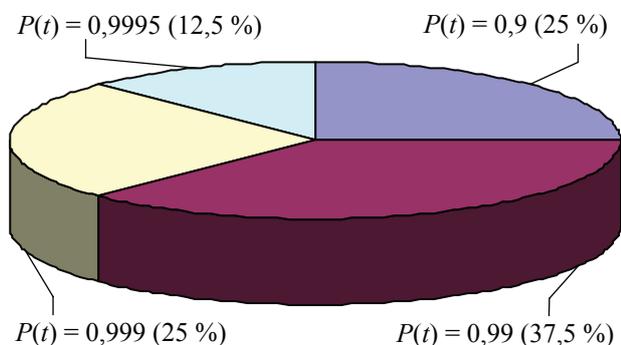


Рис. 2. Потребности ИЭП однократного применения в РЭА в зависимости от вероятности безотказной работы P(t) в течение заданного промежутка времени

Результаты анализа требований к надежности ИЭП специального назначения, необходимых для комплектования наземной стационарной и подвижной техники, бортовой морской, авиационной и ракетно-космической техники, представлены на рис. 1, 2.

Необходимо отметить, что для комплектующих элементов принят экспоненциальный закон распределения времени наработки до отказа. Согласно [3] в случае отклонения вида закона в сторону от экспоненциального при большом числе комплектующих элементов (что имеет место при создании ИЭП) общее распределение времени наработки до отказа будет близко к экспоненциальному. Поэтому с большой достоверностью можно принять закон распределения времени наработки до отказа комплектующих элементов и ИЭП в целом близким к экспоненциальному.

При экспоненциальном распределении времени наработки до отказа комплектующих элементов ИЭП интенсивность отказов источни-

ков электропитания в соответствии с [4] определяется как

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \Lambda^{(i)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{(j)}^{(i)} \Lambda_{(j)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{(j)}^{(i)} \lambda_{\sigma(j)} \prod_{s=1}^r k_{s(j)}^i, \quad (1)$$

где  $\Lambda^{(i)}$  – интенсивность отказов i-го блока (выпрямителя, фильтра, регулирующего элемента, трансформаторного узла и т. п.) ИЭП;

$\lambda_{(j)}$  – интенсивность отказов компонента j-го типа, применяемого в ИЭП;

$\lambda_{\sigma(j)}$  – базовая (базовая среднегрупповая) интенсивность отказов компонента j-го типа;

$l_{(j)}^{(i)}$  – количество компонентов j-го типа в i-м блоке;

$k_{s(j)}^{(i)}$  – коэффициенты ( $s = 1, \dots, r$ ), учитывающие условия эксплуатации и режимы применения, качество изготовления, вид приемки и т. п. компонентов j-го типа в i-м блоке.

Модели расчета  $\lambda_{(j)}$  приведены в [5]. Основными из них для комплектующих ИЭП элементов являются следующие.

Для микросхем интегральных полупроводниковых аналоговых и интегральных гибридных

$$\lambda = \lambda_{\sigma} K_{CT} K_{корп} K_V K_{\phi} K_{np} K_{uc},$$

где  $K_{CT}$  – коэффициент, учитывающий сложность интегральных схем и температуру окружающей среды;

$K_{корп}$  – коэффициент, учитывающий тип корпуса;

$K_V$  – коэффициент, учитывающий максимальное значение напряжения питания;

$K_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий степень жесткости условий эксплуатации;

$K_{np}$  – коэффициент, учитывающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приемки изделий;

$K_{uc}$  – коэффициент, учитывающий степень освоенности технологического процесса. Для изделий военного назначения  $K_{uc} = 1$ ;

Коэффициент  $K_{CT}$  рассчитывается как

$$K_{CT} = A \exp B(t + 273),$$

где A и B – постоянные коэффициенты модели;

t – температура окружающей среды, °C.

Для диодов и диодных сборок

$$\lambda = \lambda_{\sigma} K_p K_{\phi} K_{ST} K_{\phi} K_{np},$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий электрическую нагрузку и температуру окружающей среды или корпуса;

$K_\phi$  – коэффициент, учитывающий функциональное назначение прибора;

$K_{SI}$  – коэффициент, учитывающий величину рабочего напряжения относительно максимально допустимого по техническим условиям.

Для стабилизаторов, ограничителей напряжения и тиристоров

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_\phi K_{SI} K_{\text{np}}$$

Для транзисторов биполярных и транзисторных сборок

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_\phi K_{SI} K_{\text{np}}$$

Для транзисторов полевых

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_\phi K_{\text{np}}$$

Коэффициент  $K_p$  определяется как

$$K_p = A \cdot \exp \left[ \frac{N_T}{273 + t + (175 - t_{\text{пер.макс}}) + \Delta t K_{\text{эл}} \left( \frac{t_{\text{пер.макс}} - t_{\text{сниж}}}{150} \right)} \right] \times \exp \left[ \frac{273 + t + (150 - t_{\text{пер.макс}}) + \Delta t K_{\text{эл}} \left( \frac{t_{\text{пер.макс}} - t_{\text{сниж}}}{125} \right)}{T_M} \right]^L,$$

где  $A, N_T, T_M, L, \Delta t$  – постоянные модели;

$t$  – температура окружающей среды;

$K_{\text{эл}}$  – отношение рабочей электрической нагрузки к максимально допустимой при температуре, равной  $t_{\text{сниж}}$ ;

$t_{\text{сниж}}$  – максимальная температура окружающей среды, для которой при 100 % электрической нагрузке температура перехода не превышает максимально допустимую

$t_{\text{пер.макс}}$ .

Для микросхем оптоэлектронных

$$\lambda = \lambda_\sigma K_\phi K_{\text{np}}$$

Для резисторов постоянных:

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_R K_\phi K_{\text{np}}$$

где  $K_R$  – коэффициент, характеризующий величину номинального сопротивления для отдельных групп резисторов.

Коэффициент  $K_p$  определяется как

$$K_p = A \exp B((t + 273) / N_p)^G \times \exp[(P / P_H N_s)((t + 273) / 273)^H],$$

где  $A, B, G, J, H, N_p, N_s$  – постоянные коэффициенты модели;

$t$  – температура окружающей среды, °С;

$P$  – рабочая мощность рассеяния резисторов, Вт;

$P_H$  – номинальная мощность рассеяния резисторов, Вт.

Для керамических конденсаторов постоянной емкости, оксидно-электролитических конденсаторов, конденсаторов с органическим синтетическим диэлектриком

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_c K_\phi K_{\text{np}}$$

где  $K_c$  – коэффициент, учитывающий величину номинальной емкости.

Коэффициент  $K_p$  определяется как

$$K_p = A[(U / U_H N_s)^H + 1] \cdot \exp B((t + 273) / N_t),$$

где  $A, B, G, H, N_t, N_s$  – постоянные коэффициенты модели;

$t$  – температура окружающей среды, °С;

$U$  – рабочее напряжение, Вт;

$U_H$  – номинальное напряжение, В.

Для трансформаторов

$$\lambda = \lambda_\sigma K_T K_\phi K_{\text{np}}$$

где  $K_T$  – коэффициент, характеризующий максимально допустимое значение температуры по ТУ, который рассчитывается как

$$K_T = A \exp((t_M + 273) / T_M)^G,$$

где  $t_M$  – температура максимально нагретой точки обмотки транзистора;

$A, G, T_M$  – постоянные коэффициенты модели.

Для дросселей

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_\phi K_{\text{np}}$$

Для силовых полупроводниковых приборов

$$\lambda = \lambda_\sigma K_p K_\phi K_\phi K_K$$

где  $K_K$  – коэффициент, учитывающий уровень качества прибора.

Коэффициент  $K_p$  определяется как

$$K_p = K_t K_u$$

где  $K_t$  – коэффициент, учитывающий температуру перехода;

$K_u$  – коэффициент загрузки по напряжению.

При этом

$$K_t = \exp[-(E_a / K)(1 / t_{\text{пер}} - 1 / 298)],$$

где  $E_a = 0,5$  эВ;  $K = 8,625 \cdot 10^{-5}$  эВ/град;

$t_{\text{пер}}$  – температура перехода в процессе эксплуатации, К.

$$K_u = (U_{\text{раб}} / U_{\text{макс}})^{1,5},$$

где  $U_{\text{раб}}$  – значение максимального рабочего повторяющегося напряжения в схеме применения, В;

$U_{\text{макс}}$  – максимально допустимое напряжение данного типа прибора, В.

Представленные выражения позволяют оценить надежность ИЭП в целом и рассчитать

значение интенсивности отказов (формула 1), по которой вычисляется среднее время наработки до отказа.

$$T = 1 / \Lambda.$$

Учитывая, что наиболее применяемыми в современной РЭА специального назначения являются неремонтируемые стандартные модули питания (МП), поставляемые специализированными предприятиями, в качестве показателей надежности для них предложены и обоснованы следующие [6]:

– гамма-процентная наработка до отказа  $T_\gamma$  (наработка в течение которой отказ МП не возникает с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах);

– гамма-процентный срок сохраняемости  $T_{cy}$  (срок сохраняемости, достигаемый МП с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах);

– назначенный срок службы до списания  $T_{сл.н.сн.}$  (календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация МП должна быть прекращена независимо от его технического состояния).

Исходя из современных требований аппаратуры к ИЭП (рис. 1), значение  $T_\gamma$  выбирается их ряда 20 000, 25 000, ..., 150 000, 200 000 ч. При этом значение  $\gamma$  с учетом сложности построения ИЭП и разнообразия используемых в их основе комплектующих элементов и материалов желательно иметь не менее 97,5 %.

Значение гамма-процентного срока сохраняемости при  $\gamma \leq 97,5$  % при хранении в упаковке изготовителя в условиях отапливаемых хранилищ, а также вмонтированных в защищенную аппаратуру или находящихся в защищенном комплекте ЗИП выбирают из ряда 15, 20, 25 лет.

Значение назначенного срока службы до списания  $T_{сл.н.сн.}$  устанавливается исходя из ряда 15, 20, 25, 30, 35 лет.

При этом указанные достаточно жесткие требования к надежности ИЭП должны обеспечиваться в условиях реального воздействия на них комплекса различных внешних и внутренних факторов, а также показателей КЭЭ на входе. Отклонения напряжения от заданного уровня,

импульсы напряжений, искажение формы кривой напряжения и т.п. отрицательно влияют на эффективность работы комплектующих элементов и узлов ИЭП, а также их надежность.

В связи с этим для формирования требований к техническим и эксплуатационным характеристикам ИЭП РЭА необходимо проведение исследований степени влияния КЭЭ на функциональные возможности и особенности работы отдельных узлов источников и работоспособность ИЭП в целом. Частично результаты таких исследований представлены в [7].

Математическое моделирование переходных процессов в узлах ИЭП и определение функциональных и надежностных характеристик источников при изменении КЭЭ питающего напряжения связано со значительным объемом вычислительных работ.

Кроме того, различная схемотехническая реализация ИЭП приводит к необходимости разработки сложной математической модели электромагнитных процессов для каждого конкретного образца. Поэтому оценка влияния КЭЭ на выходные параметры и надежность ИЭП должна проводиться с учетом результатов экспериментальных исследований.

### Библиографический список

1. Костиков, В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. – М.: Радио и связь, 1998. – 344 с.
2. Домрачев, В.Г. Надежность электронной компонентной базы микропроцессорной техники: учебно-методическое пособие / В.Г. Домрачев, В.М. Исаев, В.М. Суслев. – М.: МГУЛ, 2003. – 68 с.
3. Капур, К. Надежность и проектирование систем: пер. с англ. / К. Капур, Л. Ламберсон; под общ. ред. И.А. Ушакова. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
4. Надежность технических систем: справочник / И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1985. – 606 с.
5. Надежность электрорадиоизделий: справочник / А.А. Борисов. – М.: МО, 2004. – 623 с.
6. Исаев, В.М. Современные требования к надежности источников вторичного электропитания специального назначения / В.М. Исаев // Электропитание. – 2002. – Вып. 4 – С. 5–9.
7. Исаев, В.М. Исследование влияния качества электрической энергии на эффективность функционирования радиоэлектронных средств / В.М. Исаев, В.А. Орлов // Экономика и производство. – 2000. – № 8. – С. 21–23.

## ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Н.И. ЛЕСИН, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, канд. техн. наук*

Методы оценки технического состояния электронных систем, применяемые в настоящее время [1–6], не позволяют достаточно оперативно и с высокой достоверностью определять работоспособность последних, а также проводить их диагностирование. Последнее особенно существенно проявляется для сложных электронных систем, когда в силу временных ограничений приходится сознательно ограничивать число контролируемых параметров, что приводит также к увеличению стоимости их эксплуатации. Так, например, неподтвержденные наземными проверками отказы только бортового оборудования самолетов составляют (25–64) % от их общего числа, что примерно до двух раз увеличивает стоимость эксплуатации авиационной техники по сравнению с ее закупочной стоимостью [7]. Поэтому в последнее время для более объективной оценки технического состояния электронных систем все большее применение находят методы, учитывающие полноту контроля.

Анализ научно-технической литературы по оценке технического состояния электронных систем показывает, что в настоящее время практически отсутствуют работы по оценке достоверности определения технического состояния электронных систем с учетом их полноты контроля.

Методами математической статистики и принятия решений получены выражения для достоверности оценки работоспособности электронных систем для различных значений относительных погрешностей измерений контролируемых параметров, полноты контроля и фиксированного критерия отказа.

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_k)^{N_0 Q} \quad (1)$$

$$\beta = (1 - \alpha_k)^{N_0 Q} - [(1 - \alpha_k)^{N_0 Q} -$$

$$\frac{(P_k (1 - \alpha_k) + (1 - P_k) \beta_k)^{N_0 Q} - (P_k (1 - \alpha_k))^{N_0 Q}}{1 - P_k^{N_0 Q}}] Q \quad (2)$$

$$P_{np} = P_k^{N_0} (1 - \alpha_k)^{N_0 Q} + (1 - (1 - \alpha_k)^{N_0 Q}) (1 - P_k^{N_0}) + [(1 - \alpha_k)^{N_0 Q} - \left( \frac{(P_k (1 - \alpha_k) + (1 - P_k) \beta_k)^{N_0 Q}}{1 - P_k^{N_0 Q}} - \frac{(P_k (1 - \alpha_k))^{N_0 Q}}{1 - P_k^{N_0 Q}} \right)] (1 - P_k^{N_0}) Q, \quad (3)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов электронной системы в целом;

$P_{np}$  – вероятность принятия правильного решения о техническом состоянии электронной системы;

$\alpha_k$  и  $\beta_k$  – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов по  $k$ -му контролируемому параметру;

$P_k$  – вероятность безотказной работы по  $k$ -му контролируемому параметру;

$Q = 1 - P_0 / 1 - P$  – полнота контроля;

$P$  и  $P_0$  – вероятности безотказной работы электронной системы в целом и ее контролируемой части;

$N_0$  – количество контролируемых параметров в электронной системе.

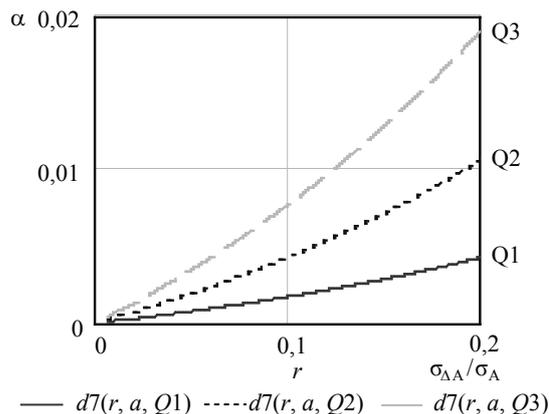


Рис. 1. Зависимости условной вероятности ложного отказа от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров электронной системы при  $N_0 = 20$ ,  $\Delta/\sigma_{AA} = 3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1 = 0,2$ ;  $Q2 = 0,5$ ;  $Q3 = 0,9$

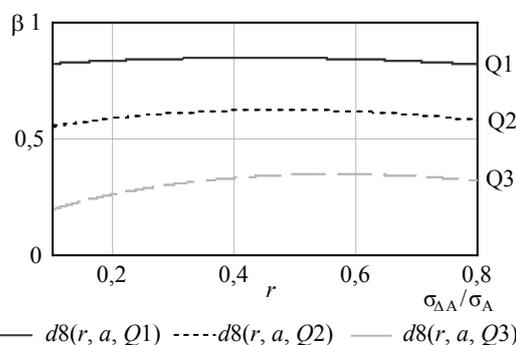


Рис. 2. Зависимости условной вероятности необнаруженного отказа от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров электронной системы при  $N_0 = 20$ ,  $\Delta/\sigma_{AA} = 3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1 = 0,2$ ;  $Q2 = 0,5$ ;  $Q3 = 0,9$

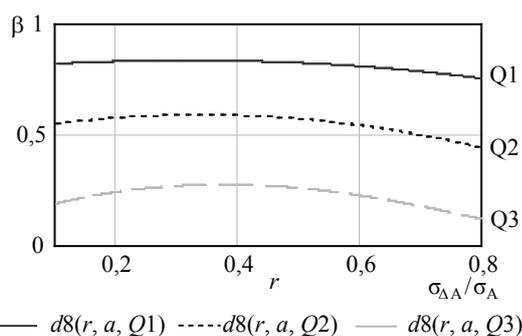


Рис. 3. Зависимости условной вероятности необнаруженного отказа от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров электронной системы при  $N_0 = 40$ ,  $\Delta/\sigma_{\Delta\Lambda} = 3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1 = 0,2$ ;  $Q2 = 0,5$ ;  $Q3 = 0,9$

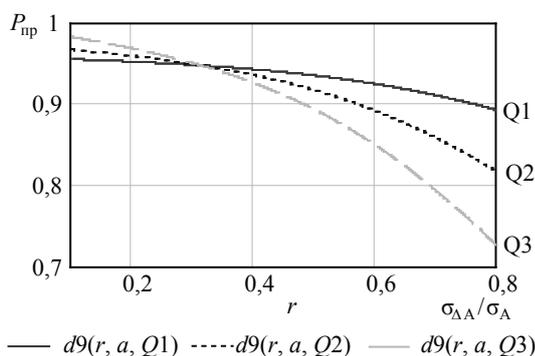


Рис. 4. Зависимости вероятности принятия правильного решения от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров электронной системы при  $N_0=20$ ,  $\Delta/\sigma_{\Delta\Lambda}=3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1=0,2$ ;  $Q2=0,5$ ;  $Q3=0,9$ .

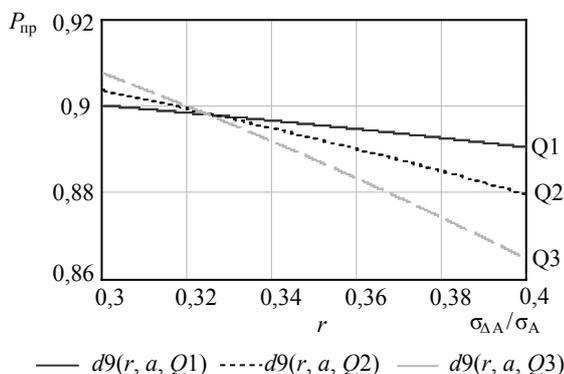


Рис. 5. Зависимости вероятности принятия правильного решения от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров электронной системы при  $N_0 = 40$ ,  $\Delta/\sigma_{\Delta\Lambda} = 3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1 = 0,2$ ;  $Q2 = 0,5$ ;  $Q3 = 0,9$

На рис. 1–5 представлены графики зависимостей условных вероятностей ложного и необнаруженного отказов  $\alpha$ ,  $\beta$  и вероятности принятия правильного решения для принятого критерия отказа по электронной системе в целом от относительных погрешностей измерений контроли-

руемых параметров  $\sigma_{\Delta\Lambda}/\sigma_A$  при фиксированных значениях числа контролируемых параметров, допусков на них  $\Delta/\sigma_{\Delta\Lambda}$  и различных значениях полноты контроля.

Анализ выражений и графиков показывает, что для принятого критерия отказа при увеличении относительной погрешности измерения контролируемых параметров  $\sigma_{\Delta\Lambda}/\sigma_A$ , фиксированных значений числа контролируемых параметров в электронной системе, полноты контроля и допусков на контролируемые параметры условная вероятность ложного отказа увеличивается, условная вероятность необнаруженного отказа сначала растет, а затем уменьшается, а вероятность принятия правильного решения уменьшается.

Для фиксированных значений относительных погрешностей измерений контролируемых параметров, числа параметров и допусков на них увеличение полноты контроля приводит к уменьшению условной вероятности необнаруженного отказа и увеличению условной вероятности ложного отказа, причем первая имеет экстремум, который с увеличением количества контролируемых параметров в электронной системе смещается в сторону уменьшения относительных погрешностей измерений.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и оценке технического состояния электронных систем с учетом их полноты контроля и принятого критерия отказа.

### Библиографический список

1. Авакян, А.А. Проблемы контроля дискретных систем авиационной и космической техники / А.А. Авакян, Н.Н. Новиков, С.Ю. Рынкевич // Информационно-измерительная техника, экология и мониторинг: сб. науч. тр. – Вып. – 2001/1. – 2001. – С. 259–270.
2. Щербаков, Н.С. Достоверность работы цифровых устройств / Н.С. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
3. Хетагуров, Я.А. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования / Я.А. Хетагуров, Ю.П. Руднев. – М.: Энергия, 1974. – 272 с.
4. Проектирование внешних средств автоматизированного контроля радиоэлектронного оборудования / Под ред. Н.Н. Пономарева. – М.: Радио и связь, 1984. – 296 с.
5. Борисов, В.С. Избыточность в полупроводниковых запоминающих устройствах. Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / В.С. Борисов, В.В. Лосев, В.А. Шахнов. – М.: Сов. Радио, 1979. – Вып. 4. – С. 211–227.
6. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. П.И. Чинаева. – М.: Сов. радио, 1977. – 256 с.
7. Jackson J.// AJAA Paper.-1987.-№ 2945.-p.1-4.

## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.С. РЕТИНСКИЙ, проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук

Проблема воспроизведения или моделирования режимов работы сложных систем сетевого типа с распределенными параметрами (рисунок) сводится к совместному решению системы уравнений, включающей дифференциальные уравнения в частных производных, описывающих процессы для участков системы, и уравнения сопряжения параметров в ее узлах. При моделировании таких систем даже с линейными дифференциальными уравнениями возникает непростая математическая задача поиска неизвестных временных функций граничных условий таких уравнений.

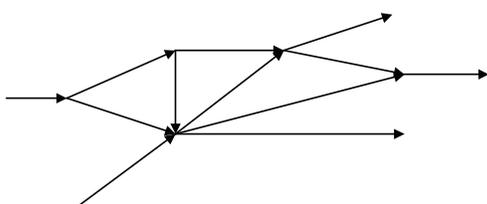


Рисунок. Пример сложной системы сетевого типа

Рассмотрим сложную разветвленную систему, в которой нестационарный процесс описывается для участка  $ik$  длиной  $l_{ik}$  следующей, например, линейной параболической системой уравнений теплопроводности

$$\begin{cases} \frac{\partial P_{ik}(x,t)}{\partial t} = B_{ik} \frac{\partial^2 P_{ik}(x,t)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial P_{ik}(x,t)}{\partial x} = A_{ik} Q_{ik}(x,t) \end{cases}, \quad (1)$$

где  $A, B$  – заданные параметры участка;  $P(x, t), Q(x, t)$  – искомые параметры системы сечения  $x$  в момент времени  $t$  [1].

Представленная линеаризованная модель может использоваться для решения некоторых задач воспроизведения режимов работы систем магистральных газопроводов, гидротрубопроводов, нефтепродуктопроводов, пневмотранспорта, теплового распределения, электрических и электронных передач (связей) длинными линиями. Как субстанция в них выступают газ, нефть, нефтепродукты, воздух, тепло, заряженные частицы.

Задача воспроизведения нестационарных режимов работы сложных систем сетевого типа может быть сформулирована следующим образом. Пусть в начальный момент времени

$t = 0$  заданы функции  $P_{ij}(x, 0)$  вдоль всех линейных участков. Например, пусть система работала для  $t = 0$  в стационарном режиме. В моменты  $t > 0$  на ее свободных узлах задаются временные функции  $P$  или  $Q$ , в узлах сосредоточенного отбора или подачи (газа, тепла, тока и т.п.) – временные функции  $Q$ . Необходимо для  $t > 0$  для любого участка и любой координаты сети получить временные функции  $P$  и  $Q$ .

Представим сеть в виде графа с множеством номеров вершин  $\Lambda$ . За  $\lambda_i$  обозначим множество номеров вершин, связанных ребром с вершиной  $i$ . Пусть  $\Omega \in \Lambda$  – множество номеров вершин, в которых сходятся более одной дуги.  $\Omega^* \in \Lambda$  – номера вершин, в которые входит или из которых выходит только одна дуга. Множеством  $\Omega^*$  – номера свободных узлов графа. Обозначим  $\Omega_1$  множество номеров вершин из  $\Omega$ , которое соответствует узлам с сосредоточенными отборами, а  $\Omega_2$  – узлам с сосредоточенными подачами  $Q$ . Пусть  $\Omega_q^*$  и  $\Omega_p^*$  – множество номеров свободных узлов с заданными временными функциями, соответственно,  $P$  или  $Q$ .

Таким образом, задача моделирования или воспроизведения нестационарных режимов работы сложных сетей сводится к решению замкнутой системы, в которую входят:

– линейные дифференциальные уравнения вида (1), описывающие процесс вдоль участков  $ik$ ;

– уравнения баланса потока в узлах

$$\sum_k Q_{jk}(0, t) - \sum_i Q_{ij}(l_{ij}, t) = R_j(t) \quad (2)$$

$$i, k \in \lambda_j; j \in \Omega;$$

$$R_j(t) = \begin{cases} +u_j, & j \in (\Omega_1 U \Omega_q^*) \\ -u_j, & j \in (\Omega_2 U \Omega_p^*), \\ 0, & j \notin (\Omega_1 U \Omega_2) \end{cases}$$

где  $R_j(t)$  – заданная функция расхода, соответствующая сосредоточенному отбору или подачи  $Q$  в узле  $j$ ;

– равенства значений  $P$  в узлах сети для начальных и конечных сечений линейных участков сходящихся в них:

$$P_{jk}(0, t) = P_{nj}(l_{jn}, t) \quad j \in \Omega; k, n \in \lambda_j. \quad (3)$$

Для поиска значений  $P$  и  $Q$  (для удобства назовем их потенциалом и потоком) для любого

участка любого сечения для некоторого момента времени в качестве неизвестных можно рассматривать в системе (1–3) как временные функции  $P$ , так и временные функции  $Q$  в начальных ( $x = 0$ ) и конечных ( $x = l_{ik}$ ) сечениях каждого участка  $ik$ . В принятых обозначениях ищутся граничные условия  $P_{ik}(z_{ik}, t)$ , и  $Q_{ik}(z_{ik}, t)$ , когда  $z_{ik} = l_{ik}$ , или  $z_{ik} = 0$ . По найденным функциям можно найти значения  $P$  или  $Q$  для любого сечения  $x$  участка  $ik$  заданного момента времени  $t$ .

Трудности решения системы (1–3) обусловлены наличием: системы дифференциальных уравнений в частных производных с неизвестными функциями граничных условий; неизвестных функций граничных условий; большой размерности при моделировании реальных сетей.

Аналитические методы решения таких систем пока не получены. Конечноразностные методы, достаточно эффективные для моделирования режимов для одного линейного участка или небольшой разветвленной сети, не могут быть эффективно использованы для сетей средней и большой размерности.

Рассмотрим метод решения системы (1–3), основанный на приближении решения.

Будем искать значения потоков и потенциалов для  $t_k = k\Delta t$ , где  $\Delta t$  – заданный расчетный интервал,  $k = 1, 2, \dots$ . Неизвестные значения функции потенциала или потока будем искать в виде кусочно-полиномиальных функций.

Пусть искомые функции потока или потенциала на для 1-го интервала ( $0 < t \leq t_1$ ) представлены в виде

$$P_{ej}(0, t) = \sum_{i=0}^n r_{ei} t^i, \quad (4)$$

если система (1–3) выражена через функции потенциала в узлах сети. Если система выражается через функции потока, то эти функции также представляются как полиномы вида (4)

$$Q_{ej}(0, t) = \sum_{i=0}^n r_{ei}^* t^i. \quad (5)$$

В качестве функции начального распределения потенциала для каждого участка  $ej$  момента времени  $t_{k-1}$  примем в общем случае функцию вида

$$P_{ej}(x, 0) = \sum_{d=0}^L \alpha_{ejd} x^d. \quad (6)$$

В общем случае, чтобы использовать решение (1) в других уравнениях системы (2–3) необходимо решать (1) для следующих граничных условий

а)  $P_{ej}(0, t); P_{ej}(l_{ej}, t)$  – заданы потенциалы в  $e$  и  $j$ ;

б)  $P_{ej}(0, t); Q_{ik}(l_{ej}, t)$  – заданы потенциал в  $e$  и поток в  $j$ ;

в)  $Q_{ej}(0, t); P_{ej}(l_{ej}, t)$  – заданы расход в  $e$  и потенциал в  $j$ ; (7)

г)  $Q_{ik}(0, t); Q_{ik}(l_{ik}, t)$  – заданы поток в  $e$  и поток в  $j$ .

Используем преобразование Фурье с решением системы обыкновенных дифференциальных уравнений, получим, как функции потенциала и функции потока для любого  $x$ , участка  $ej$  линейно зависят от коэффициентов полинома вида (4–5). Эти полиномы аппроксимируют или функцию потенциала, или функцию потока только на конечных сечениях участка. Такая зависимость характерна для линейных дифференциальных уравнений в частных производных с граничными условиями в виде полинома от времени.

Например, для граничного условия а) из (7),  $n = 0$  и  $L = 3$  имеем

$$P_{ej}(x, t) = r_{e0} + (r_{j0} - r_{e0}) \frac{x}{l_{ej}} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} (c_k - r_{e0} + (-1)^k r_{j0}) \exp\left(-\frac{B_{ej}(k\pi)^2 t}{l_{ej}^2}\right) \sin\left(\frac{\pi k x}{l_{ej}}\right), \quad (8)$$

$$c_k = \alpha_{ej0}(1 - (-1)^k) - \alpha_{ej1} l_{ej} (-1)^k - \alpha_{ej2} l_{ej}^2 (-1)^k \times \times \left(\frac{2((-1)^k - 1)}{(\pi k)^2} - (-1)^k\right) + \alpha_{ej3} l_{ej}^3 (-1)^k \left(\frac{6}{(\pi k)^2} - 1\right)$$

Для граничного условия а) из (7),  $n = 1$  и  $L = 3$  имеем:

$$P_{ej}(x, t) = p^*(x, t) + (r_{j1} - r_{e1}) \frac{tx}{l_{ej}} + tr_{e1} - \frac{l_{ej}^2 r_{e1}}{6B_{ej}} \times \left(\frac{2x}{l_{ej}} - \frac{3x^2}{l_{ej}^2} + \frac{x^3}{l_{ej}^3}\right) + \frac{x^3 r_{j1}}{6B_{ej} l_{ej}} + \frac{2}{B_{ej} \pi^3} \sum_{k=0}^{\infty} ((r_{e1} - (-1)^k r_{j1}) \exp\left(-\frac{B_{ej}(k\pi)^2 t}{l_{ej}^2}\right) \sin\left(\frac{\pi k x}{l_{ej}}\right)) \left(\frac{l_{ej}^2 - B_{ej}(k\pi)^2 t}{n^3}\right)$$

$p^*(x, t) = P_{ej}(x, t)$  для  $n = 0, L = 3$  формулы (8). (9)

Заметим, что здесь  $r_{e0} = P_{ej}(0, 0)$ , а функции потока или потенциала свободных узлов сети следует задавать в виде известных параметров вида (4–5).

Таким образом, неизвестные функции граничных условий, представленные как (4) или (5), содержат  $n^*$  неизвестных параметров аппроксимации. При этом  $n^* = n$ , если  $n > 0$  и  $n^* = 1$ , если  $n = 0$ . Из системы (1–3) получаем систему линейных алгебраических уравнений вида

$$aX = b. \quad (10)$$

Система (10) имеет  $m$  уравнений и  $n^* m$  неизвестных коэффициентов из (4) или (5). При этом  $m$  – число искомых функций давления или потока.

Если неизвестные функции представлены как линейные от  $t$  или в виде ступенчатого скачка ( $n^* = 1$ ), то в системе (10) число уравнений совпадает с числом неизвестных с рангом системы  $m$ .

Если  $m > n^*$ , то потребуем, чтобы решение системы (10) удовлетворяло следующим условиям:

- уравнения, входящие в (10), для  $t = t_1$  должны выполняться точно;
- сумма квадратов невязки уравнений сопряжения для  $t = (s t_1) / m, s = 1, 2, \dots, m-1$  должна быть минимальной.

Этим условиям удовлетворяет следующая система  $n^*m$  линейных уравнений с  $n^*m$  неизвестными для  $n^* > 1$

$$\sum_{j=1}^{n^*m} \left( \sum_{e=1}^{(m-1)} a_{ej} a_{ei} X_j = \sum_{e=1}^{(m-1)} a_{ei} b_e, \sum_{j=1}^{n^*m} a_{ij} X_j = b_i \right).$$

$$i = 1, 2, \dots, (n^* - 1)m, i = (m, \dots, n^*m).$$

Как в том, так и в другом случае необходимо решить систему из  $mn^*$  линейных алгебраических уравнений с  $mn^*$  неизвестными значениями коэффициентов полиномов аппроксимации неизвестных функций или давлений, или потока.

Итак, с помощью системы (10) мы получили значения параметров всех искомых функций граничных условий во всех узлах сети. Теперь, зная все граничные условия и используя решения вида (8–9) с требуемыми условиями из (7), получим значения  $P$  и  $Q$  в любой точке сети для любого  $t$  из  $0 < t \leq t_1$ .

Дальнейшее моделирование можно проводить двумя путями.

1. Пусть  $t_1 < t \leq t_2$ . За начальное условие для этого интервала примем полученные функции потенциала вдоль всех участков сети для  $t = t_1$ . Для этого решение (1–3) для каждого участка представлено опять в виде полинома (6). Значения коэффициентов  $\alpha_{ejd}$  можно найти через значения коэффициентов разложения функций изменения потенциала для каждого участка  $ej$  по ортогональной системе многочленов на множестве  $(N + 1)$  значений функций  $T$  в равностоящих точках [2]. То есть, представим решение в виде

$$P_{ej}(x_v, t_k) = \sum_{d=0}^L \alpha_{ejd}^* T_{dN}(v) \quad (11)$$

$$\alpha_{ejd}^* = \frac{\sum_{v=0}^N P_{ej}(x_v, t_k) T_{dN}(v)}{\sum_{v=0}^N T_{dN}(v)}$$

$$x_v = l_{ej} v / N, v = 0, 1, 2, \dots, N.$$

Полиномы  $T_{dN}(x)$  найдем из рекуррентного соотношения

$$xT_{dN}(x) = \frac{(d+1)(d-N)}{2(2d+1)} T_{d+1N}(x) + \frac{N}{2} T_{dN}(x) - \frac{(d+N+1)d}{2(2d+1)} R_{d-1N}(x) \quad (12)$$

$$T_{0N}(x) = 1, T_{1N}(x) = 1 - \frac{2x}{N}.$$

Выразим  $\alpha_{ejd}$  через  $\alpha_{ejd}^*$  например, для  $L = 2$ . Тогда, используя (11)–(12), получаем для формулы (6)

$$\alpha_{ej0} = \sum_{d=0}^3 \alpha_{ejd}^* \\ \alpha_{ej2} = \frac{6\alpha_{ej2}^*}{N(N-1)} + \frac{30\alpha_{ej3}^*}{(N-1)(N-2)} \\ \alpha_{ej1} = -\frac{2\alpha_{ej1}^*}{N} - \frac{6\alpha_{ej2}^*}{N-1} - \frac{2\alpha_{ej3}^* (6N^2 - 3N + 2)}{N(N-1)(N-2)}.$$

По такой же схеме переходим к расчетам следующего интервала времени.

Очевидно, что все приближения дают погрешности в вычислениях функций. Поэтому предложенный выше подход требует малых значений временного интервала и больших значений параметров  $L$  и  $n$ . Теоретическая оценка погрешности метода представляется трудноразрешимой математической проблемой.

2. Можно предложить другую процедуру моделирования. Для любого момента времени  $t = k\Delta t$  в качестве начального условия решения (1) всегда берется условие для  $t = 0$ . Неизвестные граничные условия узлов для  $k = 1, 2, 3, \dots$  представляются функциями времени в виде полинома степени  $k$ . Вычислив для текущего  $k$  значения граничных условий, мы тем самым имеем их значения для всех  $k = 0, 1, \dots, k-1$ . У полинома степени  $n$  из  $n + 1$  неизвестных коэффициентов можно получить значения  $n$  искомых параметров  $r_{ei}$  или  $r_{ei}^*$ , решив соответствующую систему линейных уравнений. В качестве неизвестного значений этих параметров можно оставить только параметр при  $t$  и проводить расчеты с использованием только формул вида (9).

При такой процедуре можно изменять значения  $\Delta t$  для данного  $k$ : для начальных  $k$  значения  $\Delta t$  могут быть малыми, а затем их можно увеличить.

### Библиографический список

1. Воеводин, А.Ф. Методы решения одномерных эволюционных систем / А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин. – Новосибирск: Наука, 1993. – 366 с.
2. Суетин, П.К. Классические ортогональные многочлены / П.К. Суетин. – М.: Наука, 1976. – 327 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ОБРАБОТКЕ ТРАССЫ MPI-ПРОГРАММ

А.А. БОЦУЛА, *асп. каф. прикладной математики МГУЛ*

Наиболее распространенным методом программирования параллельных вычислительных систем является метод, основанный на передаче сообщений. Стандарт MPI[1] фиксирует интерфейс, который должна соблюдать как система программирования на каждой вычислительной системе, так и пользователь при создании своих программ. MPI-программа представляет собой множество параллельных взаимодействующих процессов, которые порождаются один раз при запуске программы. В целях отладки можно записывать все события каждого процесса в отдельные файлы и затем производить обнаружение ошибок в параллельной программе по этим собранным данным. Каждый такой файл будем называть трассой выполнения процесса.

В статье описывается метод построения структуры событий MPI-программы, основанный на применении математических методов кластеризации событий трассы MPI-программы. Производится сравнение основных агломеративных алгоритмов иерархической кластеризации на примере построения структуры событий MPI-программы, предназначенной для решения задачи Дирихле.

### Предварительная обработка трассы

На начальном этапе обработки производится построение описания виртуальной топологии для каждого коммутатора программы. Это описание строится на основе трассы событий каждого процесса. В рамках данной статьи рассматривается распознавание двух типов топологии: двухмерной решетки и тора. Выбор именно этих типов топологии объясняется тем, что они являются наиболее распространенными в вычислительных программах. Таким образом, виртуальная топология полностью задается типом, размерностью по двум измерениям и распределением процессов на узлы в топологии. При распознавании топологии удобно пользоваться информацией о событиях, представленной в виде матрицы обменов. Под матрицей обменов понимается матрица  $A$ , каждый элемент  $a_{ij}$  которой равен количеству сообщений, отправленных процессом с номером  $i$  процессу с номером  $j$ . Мат-

рица обменов строится автоматически на основе трассы выполнения процессов.

Для упрощения дальнейшей работы с трассой необходимо все события трассы привести к обобщенному виду. События в обобщенном виде (обобщенные события) позволяют более эффективно производить сопоставление трасс, являя не абсолютно одинаковые операции обмена (которых на разных процессах не может быть из-за разных номеров процессов-отправителей), а аналогичные операции, задающие обмены одинаковыми по размеру сообщениями с одинаковыми тэгами в одном направлении.

Для того, чтобы построить обобщенные события, прежде всего необходимо абстрагироваться от номеров процессов в событиях трассы. Для каждой операции обмена вместо абсолютного адреса процесса-отправителя и адресата задается относительное направление пересылки. Относительное направление пересылки строится исходя из виртуальной топологии и расположения в ней взаимодействующих процессов. Например, про процесс в решетке можно сказать, что он посылает сообщение «на два столбца вправо, на одну строку вниз» вместо явного задания номера процесса, которому посылается сообщение. Для того, чтобы два обобщенных события были равны, необходимо, чтобы были равны относительные направления пересылки, тэги и размеры сообщений.

### Мера различия событий MPI-программы

С целью дальнейшего применения методов кластерного анализа на множестве обобщенных событий MPI-программы вводится мера различия между двумя событиями  $x_i$  и  $x_j$ . Такая мера  $s(x_i, x_j)$  должна удовлетворять следующим требованиям

$$\begin{aligned} - s(x_i, x_j) &\geq 0, \\ - s(x_i, x_j) &= 0 \Leftrightarrow x_i = x_j, \\ - s(x_i, x_j) &= s(x_j, x_i), \\ - s(x_i, x_j) &\leq s(x_i, x_k) + s(x_k, x_j). \end{aligned}$$

На логическом уровне наиболее схожими должны быть те события, которые происходят последовательно в MPI-программе. Такое следование должно соблюдаться на всех процессах,

смежных в виртуальной топологии. Требование смежности процессов является существенным, поскольку возникновение смещения события в одном процессе отражается только на процессы, обменивающиеся сообщениями с данным процессом. Кроме того, принимая во внимание только смежные процессы, можно значительно увеличить быстродействие алгоритма вычисления различия.

Другим требованием к вводимой мере является нечувствительность к незначительным смещениям. Одиночные события, попавшие в общую структуру обменов между процессами вследствие ошибки или некоторых подготовительных операций, не должны приводить к существенному возрастанию расстояния между событиями, входящими в общую структуру обменов. При этом ошибочные события должны быть отделены от общей структуры.

Наиболее подходящей мерой различия для данной задачи является модификация метрики взаимной смежности (*mutual neighbor distance*, *MND*) [3]. Данная мера является контекстно-зависимой, так как учитывает не только сами паттерны  $x_i$  и  $x_j$ , но и смежные паттерны (контекст). Мера различия задается следующим образом:

$$MND(x_i, x_j) = NN(x_i, x_j) + NN(x_j, x_i),$$

где  $NN(x_i, x_j)$  – количество паттернов между паттернами  $x_i$  и  $x_j$ .

На основании приведенных выше требований построена мера различия, основанная на среднем смещении соответствующих событий во всех смежных процессах (а также внутри одного процесса), содержащих такие события. Последовательность событий каждой смежной пары процессов просматривается последовательно. При нахождении пары событий вычисляется смещение каждого из них относительно ранее найденного аналогичного события или начала последовательности, если найденное событие первое в своем классе. За величину  $NN(x_i, x_j)$  принимается среднее по паре  $x_i$  и  $x_j$  всех таких смещений. Смещением между двумя событиями внутри одного процесса является количество событий между ними. Используя предложенный алгоритм, строится матрица мер различия для каждой пары паттернов.

Необходимо отметить, что смещение берется относительно ранее найденного события такого типа. Это позволяет не накапливать смещение событий, обусловленное различным набором подготовительных операций в начале последова-

тельности событий. Например, нулевой процесс может рассылать остальным процессам некоторые начальные данные. События, соответствующие такой первоначальной рассылке, не должны существенно влиять на способность алгоритма объединять последующие события. С применением предложенного алгоритма первоначальные события будут влиять только на смещение первой пары событий.

### Алгоритмы иерархической кластеризации

В качестве метода построения кластеров выбрано семейство агломеративных иерархических методов. Иерархический метод кластеризации заключается в построении последовательности вложенных структур, каждая из которых является кластером. Такую последовательность вложенных кластеров можно визуальным образом представить в виде дендрограммы. При использовании агломеративного метода иерархической кластеризации все паттерны размещаются в отдельные кластеры, после чего они начинают объединяться до тех пор, пока не образуют один кластер, содержащий все паттерны. В общем виде агломеративный алгоритм иерархической кластеризации состоит из следующих шагов:

- 1) построить матрицу мер различия, каждый паттерн разместить в отдельный кластер;
- 2) найти пару наиболее близких кластеров, объединить найденные кластеры в один, обновить матрицу мер различия;
- 3) если все паттерны расположены в одном кластере, стоп, иначе переход на шаг 2.

Таким образом, все агломеративные алгоритмы иерархической кластеризации различаются методом определения наиболее близких между собой кластеров. Самыми распространенными методами являются метод одиночной связи и метод полной связи. Метод одиночной связи определяет расстояние между кластерами как *минимальное* расстояние между парами паттернов, входящих в кластеры. Метод полной связи определяет расстояние между кластерами как *максимальное* расстояние между парами паттернов, входящих в кластеры. Метод полной связи порождает сильно связанные, то есть компактные кластеры. Метод одиночной связи, напротив, порождает длинные цепочки небольших кластеров. Таким образом, метод одиночной связи более чувствителен к шумам, что негативно сказывается на его применимости в отладке параллельных программ.

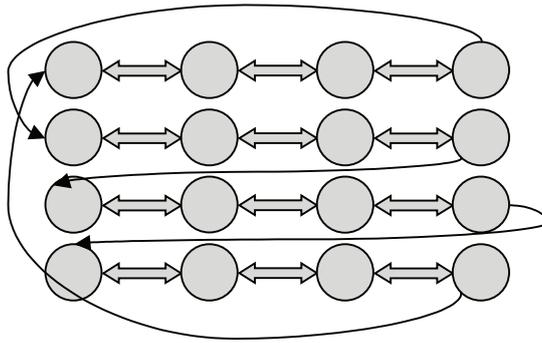


Рис. 1. Схема взаимодействия процессов параллельного алгоритма решения задачи Дирихле

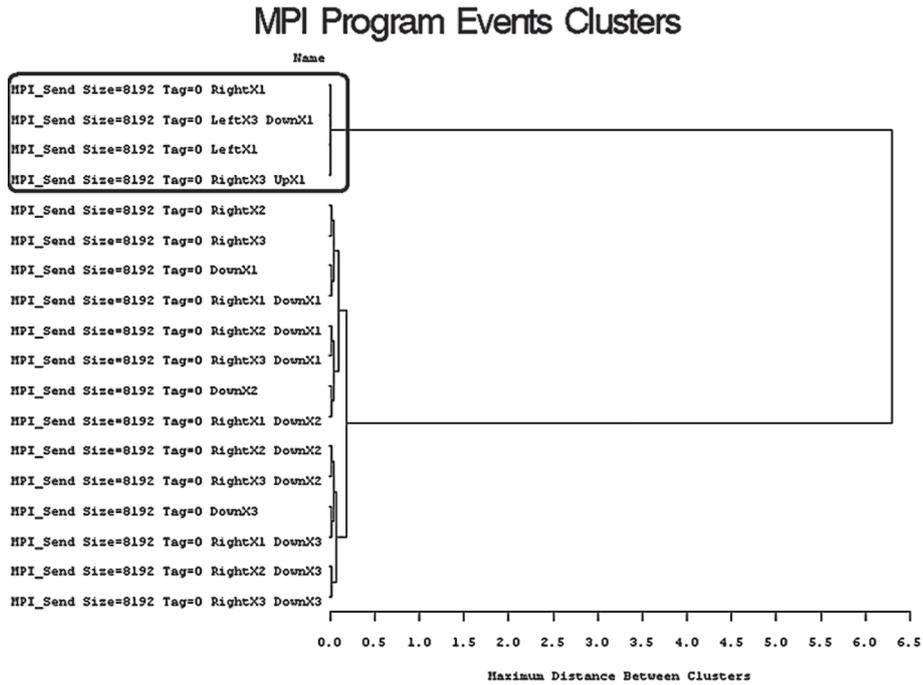


Рис. 2. Кластеры событий MPI-программы. Алгоритм полной связи

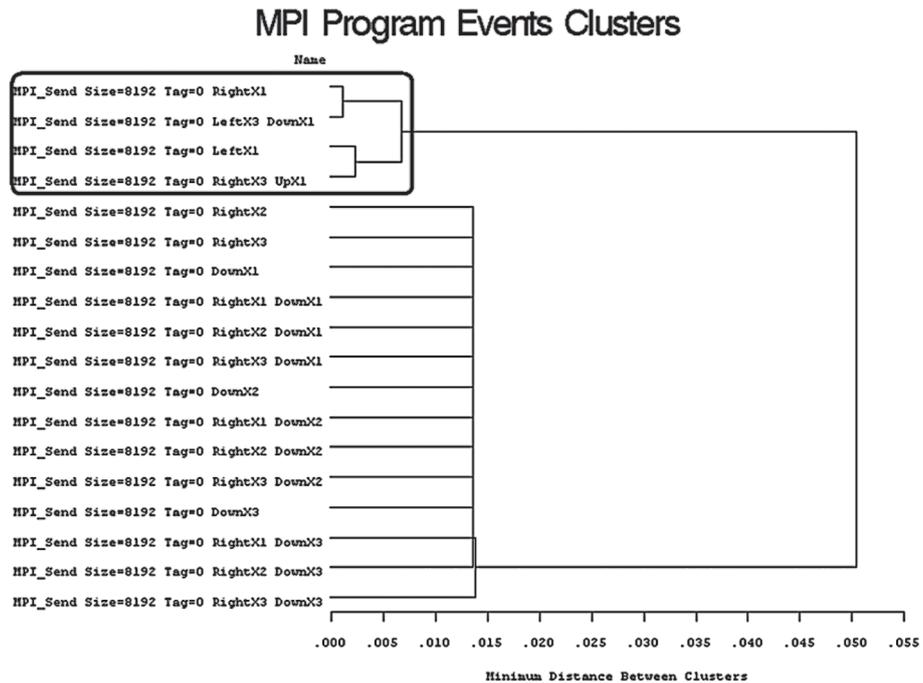


Рис. 3. Кластеры событий MPI-программы. Алгоритм одиночной связи

В качестве примера рассмотрим применение алгоритмов кластеризации в построении структуры событий MPI-программы, реализующей решение задачи Дирихле на решетке из 16 процессов. Логически программа состоит из двух этапов: предварительная рассылка начальных данных и цикл основных вычислений. После каждой итерации цикла основных вычислений происходит обмен граничными данными между смежными процессами, как показано на рис. 1.

Алгоритмы полной связи и одиночной связи представлены на рис. 2, 3.

На рисунках выделены события, соответствующие событиям цикла основных вычислений. Как видно, оба алгоритма корректно объединили эти события в один кластер. При этом применение алгоритма полной связи позволило выявить более детальную структуру событий MPI-программы.

#### Библиографический список

1. MPI: A Message-Passing Interface Standard. <http://www.mpi-forum.org>
2. A.K. Jain et al. Data Clustering: A Review / ACM Computing Surveys, Vol. 31, No. 3, September 1999
3. K.C. Gowda and G. Krishna. Agglomerative clustering using the concept of mutual nearest neighborhood. / Pattern Recognition 10, 105–112. – 1977

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ТИПОВЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В ВИДЕ РЯДОВ ФУРЬЕ

А.В. АНТОНЕЦ, доц. каф. высшей математики МГУЛ, канд. физ.-мат. наук

Несмотря на наличие довольно объемистых справочников, облегчающих получение нужных аналитических решений как обыкновенных дифференциальных уравнений, так и классических уравнений в частных производных математической физики, практическое решение конкретных краевых задач требует интенсивного применения математических умений, которыми не всегда в достаточной степени владеют специалисты с высшим инженерным образованием. В данной работе с целью лучшего удовлетворения запросов расширенного круга разработчиков различных математических моделей предпринята попытка некоторой систематизации полученных методом разделения переменных (методом Фурье) аналитических решений типовых краевых задач математической физики в виде тригонометрических или обобщенных (по системам удобных ортогональных функций) рядов Фурье.

Рассмотрены различные краевые и смешанные начально-краевые задачи с однородными и неоднородными граничными условиями для линейных однородных и неоднородных дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка с двумя независимыми переменными гиперболического, параболического и эллиптического типов. Изложенные результаты могут использоваться при подготовке учебных практикумов для студентов технических специальностей и оперативном получении информативных инженерных оценок физических взаимодействий в критических узлах машин.

### 1. Начально-краевые задачи для гиперболических уравнений в частных производных 2-го порядка

#### 1.1. Изучение малых свободных поперечных колебаний конечной струны с закрепленными концами

Пусть  $u(x; t) \equiv y(x; t)$  – форма (отклонение от положения равновесия  $u = 0$ ,  $0 \leq x \leq l$ ) струны длиной  $l$  в каждый фиксированный момент времени  $t \geq 0$ .

Требуется найти тождественно не равную нулю непрерывную функцию  $u(x; t)$ , удовлетворяющую дифференциальному уравнению в частных производных и дополнительным условиям

$$\partial^2 u / \partial t^2 = a^2 \cdot \partial^2 u / \partial x^2, \quad a = \text{const} > 0. \quad (1.1)$$

Начальные условия (форма и скорости точек струны при  $t = 0$ )

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \quad \partial u / \partial t|_{t=0} = \psi(x). \quad (1.2)$$

Однородные (нулевые) граничные условия (жесткое закрепление концов струны)

$$u|_{x=0} = h_1(t) \equiv 0, \quad u|_{x=l} = h_2(t) \equiv 0. \quad (1.3)$$

Прямая проверка показывает, что решение задачи (1.1) – (1.3) может быть представлено формулой Даламбера

$$u(x; t) = 2^{-1} [\varphi(x - a \cdot t) + \varphi(x + a \cdot t) + a^{-1} \cdot \int_{x-a \cdot t}^{x+a \cdot t} \psi(\xi) \cdot d\xi].$$

Что касается метода Фурье, то находим полную систему (бесконечное счетное множество) ортогональных собственных функций уравнения (1.1), удовлетворяющих однородным граничным условиям (1.3) с произвольными постоянными  $A_n$  и  $B_n$

$$u_n(x; t) = T_n(t) \cdot X_n(x) = [A_n \cdot \cos(a\pi n t / l) + B_n \cdot \sin(a\pi n t / l)] \cdot \sin(\pi n x / l).$$

Так как уравнение (1.1) линейно и однородно, то любая линейная комбинация его частных решений также будет его решением. Поэтому решение задачи (1.1) – (1.3) можем представить в виде

$$u_{\text{однор.}}(x; t) = \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cdot \cos(a\pi n t / l) + B_n \cdot \sin(a\pi n t / l)] \cdot \sin(\pi n x / l), \quad (1.4)$$

где постоянные  $A_n$  и  $B_n$  определяются начальными условиями (1.2)

$$A_n = 2 \cdot l^{-1} \cdot \int_0^l \varphi(x) \cdot \sin(\pi n x / l) \cdot dx, B_n = 2 \cdot (a\pi n)^{-1} \cdot \int_0^l \psi(x) \cdot \sin(\pi n x / l) \cdot dx.$$

### 1.2. Изучение малых вынужденных поперечных колебаний конечной струны с закрепленными концами

Вместо (1.1) надо решить с начальными (1.2) и граничными (1.3) условиями неоднородное дифференциальное уравнение

$$\partial^2 u / \partial t^2 = a^2 \cdot \partial^2 u / \partial x^2 + f(x; t), a = \text{const} > 0. \quad (1.5)$$

По свойству линейности уравнения (1.5) искомое его решение находится в виде

$$u_{\text{неоднор.}}(x; t) = u_{\text{однор.}}(x; t) + v(x; t),$$

где  $u_{\text{однор.}}(x; t)$  дается формулой (1.4), а  $v(x; t)$  является частным решением (1.5) с однородными начальными (1.2) и граничными (1.3) условиями.

Функции  $f(x; t)$  и  $v(x; t)$  представим параметрическими (с параметром  $t$ ) разложениями в тригонометрические ряды

$$f(x; t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \cdot \sin(\pi n x / l), f_n(t) = 2 \cdot l^{-1} \cdot \int_0^l f(x; t) \cdot \sin(\pi n x / l) \cdot dx; v(x; t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) \cdot \sin(\pi n x / l). \quad (1.6)$$

Для отыскания функций  $v_n(t)$  получают обыкновенные линейные неоднородные дифференциальные уравнения 2-го порядка с постоянными коэффициентами и нулевыми начальными условиями:

$$v_n''(t) + (a\pi n / l)^2 \cdot v_n(t) = f_n(t), v_n(0) = v_n'(0) = 0.$$

Их решения записываются в виде

$$v_n(t) = (a\pi n / l)^{-1} \cdot [(\int_0^t f_n(\xi) \cdot \cos(a\pi n \xi / l) \cdot d\xi) \cdot \sin(a\pi n t / l) - (\int_0^t f_n(\xi) \cdot \sin(a\pi n \xi / l) \cdot d\xi) \cdot \cos(a\pi n t / l)].$$

### 1.3. Изучение малых вынужденных поперечных колебаний конечной струны с незакрепленными (подвижными) концами

Требуется найти решение неоднородного дифференциального уравнения (1.5) с начальными (1.2) и ненулевыми (при  $h_1^2(t) + h_2^2(t) \neq 0$ ) граничными (1.3) условиями. Данная смешанная начально-краевая задача простой заменой искомой функции сводится к задаче с нулевыми граничными условиями п. 1.2. Так, будем искать решение в виде суммы двух функций

$$u(x; t) = u_1(x; t) + w(x; t),$$

где  $w(x; t) = h_1(t) + (h_2(t) - h_1(t)) \cdot (x / l)$ ,  $w|_{x=0} = h_1(t)$ ,

$$w|_{x=l} = h_2(t),$$

$$u_1|_{t=0} = (u - w)|_{t=0} =$$

$$= \varphi(x) - [h_1(0) + (h_2(0) - h_1(0)) \cdot (x / l)] \equiv \varphi_1(x),$$

$$\partial u_1 / \partial t|_{t=0} = (\partial u / \partial t - \partial w / \partial t)|_{t=0} =$$

$$= \psi(x) - [h_1'(0) + (h_2'(0) - h_1'(0)) \cdot (x / l)] \equiv \psi_1(x)$$

$$u_1|_{x=0} = (u - w)|_{x=0} = 0, u_1|_{x=l} = (u - w)|_{x=l} = 0$$

Обозначим

$$f_1(x; t) \equiv f(x; t) + a^2 \cdot \partial^2 w / \partial x^2 - \partial^2 w / \partial t^2 =$$

$$= f(x; t) - [h_1''(t) + (h_2''(t) - h_1''(t)) \cdot (x / l)].$$

В итоге для определения введенной функции  $u_1(x; t)$  имеем задачу п.1.2

$$\partial^2 u_1 / \partial t^2 = a^2 \cdot \partial^2 u_1 / \partial x^2 + f_1(x; t),$$

$$u_1|_{t=0} = \varphi_1(x), \partial u_1 / \partial t|_{t=0} = \psi_1(x), u_1|_{x=0} = 0, u_1|_{x=l} = 0.$$

## 2. Начально-краевые задачи для параболических уравнений в частных производных 2-го порядка

### 2.1. Изучение изменения от времени температуры вдоль конечного теплоизолированного стержня при произвольном ее начальном распределении и постоянной нулевой температуре на его концах

Пусть  $u(x; t)$  – распределение температуры в точках  $0 \leq x \leq l$  конечного теплоизолированного стержня длиной  $l$  в каждый фиксированный момент времени  $t \geq 0$ . Требуется найти тождественно не равную нулю непрерывную функцию  $u(x; t)$ , удовлетворяющую дифференциальному уравнению в частных производных (одномерному однородному уравнению теплопроводности) и дополнительным условиям

$$\partial u / \partial t = a^2 \cdot \partial^2 u / \partial x^2, a = \text{const} > 0. \quad (2.1)$$

Начальное (при  $t = 0$ ) распределение температуры

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \varphi(0) = \varphi(l) = 0. \quad (2.2)$$

Однородные (нулевые) граничные условия

$$u|_{x=0} = h_1(t) \equiv 0, u|_{x=l} = h_2(t) \equiv 0. \quad (2.3)$$

Краевой задаче (2.1), (2.3) отвечает полная система из бесконечного счетного множества собственных функций

$$u_n(x; t) = T_n(t) \cdot X_n(x) = A_n \cdot \exp(-(\alpha \pi n / l)^2 \cdot t) \cdot \sin(\pi n x / l),$$

где  $A_n$  – произвольные постоянные.

Решение исходной линейной однородной смешанной начально-краевой задачи (2.1) – (2.3) записывается в виде

$$u_{\text{однор.}}(x; t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp(-(\alpha \pi n / l)^2 \cdot t) \cdot \sin(\pi n x / l), \quad (2.4)$$

где 
$$A_n = 2 \cdot l^{-1} \cdot \int_0^l \varphi(x) \cdot \sin(\pi n x / l) \cdot dx$$

– коэффициенты Фурье разложения функции  $\varphi(x)$  из условия (2.2) в тригонометрический ряд Фурье по синусам на промежутке  $x \in [0; l]$ .

**2.2. Изучение изменения от времени температуры вдоль конечного нетеплоизолированного стержня при произвольном ее начальном распределении и постоянной нулевой температуре на его концах**

Вместо (2.1) надо решить с начальным (2.2) и граничными (2.3) условиями неоднородное дифференциальное уравнение

$$\partial u / \partial t = a^2 \cdot \partial^2 u / \partial x^2 + f(x; t), \quad a = \text{const} > 0. \quad (2.5)$$

По свойству линейности уравнения (2.5) искомое его решение, так же как и в случае (1.5), находится в виде суммы

$$u_{\text{неоднор.}}(x; t) = u_{\text{однор.}}(x; t) + v(x; t),$$

где  $u_{\text{однор.}}(x; t)$  дается формулой (2.4), а  $v(x; t)$  является частным решением (2.5) с однородными начальными (2.2) и граничными (2.3) условиями.

Функции  $f(x; t)$  и  $v(x; t)$  представим параметрическими (с параметром  $t$ ) разложениями в тригонометрические ряды (1.6). Для отыскания функций  $v_n(t)$  получаются обыкновенные линейные неоднородные дифференциальные уравнения 1-го порядка с постоянными коэффициентами и нулевым начальным условием  $v_n'(t) + (\alpha \pi n / l)^2 \cdot v_n(t) = f_n(t)$ ,  $v_n(0) = 0$ .

Их решения записываются в виде

$$v_n(t) = \exp(-(\alpha \pi n / l)^2 \cdot t) \cdot \left( \int_0^t \exp((\alpha \pi n / l)^2 \cdot \xi) \cdot f_n(\xi) \cdot d\xi \right).$$

**2.3. Изучение изменения от времени температуры вдоль конечного нетеплоизолированного стержня при произвольном ее начальном распределении и заданных нестационарных температурах на его концах**

Требуется найти решение неоднородного дифференциального уравнения (2.5) с начальным

(2.2) и ненулевыми (при  $h_1^2(t) + h_2^2(t) \neq 0$ ) граничными (2.3) условиями. Данная смешанная начально-краевая задача заменой искомой функции  $u(x; t) = u_1(x; t) + w(x; t)$  сводится, аналогично п. 1.3, к задаче с нулевыми граничными условиями п. 2.2

$$\begin{aligned} \partial u_1 / \partial t &= a^2 \cdot \partial^2 u_1 / \partial x^2 + f_1(x; t), \\ u_1|_{t=0} &= \varphi_1(x) \equiv \varphi(x) - [h_1(0) + (h_2(0) - h_1(0)) \cdot (x / l)], \\ u_1|_{x=0} &= 0, \quad u_1|_{x=l} = 0, \\ f_1(x; t) &\equiv f(x; t) + a^2 \cdot \partial^2 w / \partial x^2 - \partial w / \partial t = f(x; t) - [h_1'(t) + (h_2'(t) - h_1'(t)) \cdot (x / l)]. \end{aligned}$$

**3. Краевые задачи для эллиптических уравнений в частных производных 2-го порядка**

**3.1. Решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа в прямоугольной области**

Требуется найти функцию  $u(x; y)$ , удовлетворяющую дифференциальному уравнению Лапласа внутри прямоугольника

$$D = \{(x; y) \mid 0 \leq x \leq a; 0 \leq y \leq b\}, \quad a > 0, \quad b > 0$$

и краевым условиям Дирихле на его границе

$$\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2 = 0, \quad (3.1)$$

$$u(0; y) = g_1(y), \quad u(a; y) = g_2(y), \quad (3.2)$$

$$u(x; 0) = h_1(x), \quad u(x; b) = h_2(x). \quad (3.3)$$

Сначала найдем решение  $u_1(x; y) = u(x; y)$  этой задачи с однородными условиями по координате  $x$ , т.е. с нулевыми функциями  $g_1(y) = g_2(y) \equiv 0$ .

Тогда приходим к бесконечному счетному множеству собственных функций

$$\begin{aligned} u_{1n}(x; y) &= X_{1n}(x) \cdot Y_{1n}(y) = \\ &= \sin(\pi n x / a) \cdot [C_n \cdot \exp(-\pi n y / a) + D_n \cdot \exp(\pi n y / a)], \end{aligned}$$

где  $C_n, D_n$  – произвольные постоянные.

Ввиду линейности и однородности уравнения Лапласа решение  $u_1(x; y)$  можно представить в виде

$$u_1(x; y) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{1n}(x; y),$$

где постоянные  $C_n, D_n$  определяются при удовлетворении ненулевых граничных условий по координате  $y$

$$C_n + D_n = 2 \cdot a^{-1} \cdot I_1, \quad C_n \cdot \exp(-\pi n b / a) + D_n \cdot \exp(\pi n b / a) = 2 \cdot a^{-1} \cdot I_2,$$

$$I_1 = \int_0^a h_1(x) \cdot \sin(\pi n x / a) \cdot dx,$$

$$I_2 = \int_0^a h_2(x) \cdot \sin(\pi n x / a) \cdot dx.$$

$$\text{Или: } C_n = (a \cdot \text{sh}(\pi n b / a))^{-1} \cdot (\exp(\pi n b / a) \cdot I_1 - I_2),$$

$$D_n = -(a \cdot \text{sh}(\pi n b / a))^{-1} \cdot (\exp(-\pi n b / a) \cdot I_1 - I_2),$$

$$\begin{aligned} u_1(x; y) &= 2 \cdot a^{-1} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sin(\pi n x / a) \cdot \text{sh}^{-1}(\pi n b / a) \times \\ &\times [\text{sh}(\pi n(b - y) / a) \cdot I_1 + \text{sh}(\pi n y / a) \cdot I_2]. \end{aligned}$$

Аналогично решению  $u_1(x; y)$  получим запись решения  $u_2(x; y) = u(x; y)$  с нулевыми функциями  $h_1(y) = h_2(y) \equiv 0$

$$u_2(x; y) = 2 \cdot b^{-1} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sin(\pi n y / b) \cdot \text{sh}^{-1}(\pi n a / b) \times \\ \times [\text{sh}(\pi n(a-x) / b) \cdot J_1 + \text{sh}(\pi n x / b) \cdot J_2],$$

где

$$J_1 = \int_0^b g_1(y) \cdot \sin(\pi n y / b) \cdot dy, J_2 = \int_0^b g_2(y) \cdot \sin(\pi n y / b) \cdot dy.$$

Искомое решение задачи (3.1) – (3.3), очевидно, является суммой двух найденных специальных решений:  $u(x; y) \equiv u_L(x; y) = u_1(x; y) + u_2(x; y)$ .

### 3.2. Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона в прямоугольной области

Аналогично п. 3.1 надо найти решение задачи Дирихле с граничными условиями (3.2), (3.3) для уравнения Пуассона

$$\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2 = f(x; y). \quad (3.4)$$

Как и в п. 2.2, представим

$$u(x; y) \equiv u_p(x; y) = u_L(x; y) + v(x; y),$$

где  $u_L(x; y)$  – отыскиваемое по способу п. 3.1 решение задачи (3.1) – (3.3) для однородного уравнения (3.4), а  $v(x; y)$  – частное решение (3.4) с нулевыми граничными условиями (3.2), (3.3).

Функцию  $f(x; y)$ , допуская при  $f^2(0; y) + f^2(a; y) \neq 0$  существование точек разрыва на границах  $x = \{0; a\}$ , разложим в параметрический (с параметром  $y$ ) ряд Фурье:

$$f(x; y) = f_n(y) \cdot \sin(\pi n x / a), f_n(y) = \\ = 2 \cdot a^{-1} \cdot \int_0^a f(x; y) \cdot \sin(\pi n x / a) \cdot dx.$$

Далее находим

$$v(x; y) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(y) \cdot \sin(\pi n x / a), \\ v_n''(y) - (\pi n/a)^2 \cdot v_n(y) = f_n(y), \\ v_n(y) = a \cdot (2\pi n)^{-1} \cdot [(F_1(y) + C) \cdot \exp(\pi n y / a) - \\ - (F_2(y) + C) \cdot \exp(-\pi n y / a)], \\ C = [\exp(-\pi n b / a) \cdot F_2(b) - \exp(\pi n b / a) \cdot F_1(b)] / \\ / (\exp(\pi n b / a) - \exp(-\pi n b / a)), \\ F_1(y) = \int_0^y f_n(\xi) \cdot \exp(-\pi n \xi / a) \cdot d\xi, F_2(y) = \\ = \int_0^y f_n(\xi) \cdot \exp(\pi n \xi / a) \cdot d\xi.$$

### 3.3. Решение смешанной краевой задачи Дирихле-Неймана (вариант 1) для уравнения Пуассона в прямоугольной области

Требуется найти решение дифференциального уравнения Пуассона (3.4) при смешанных краевых условиях

$$u(0; y) = g_1(y), u(a; y) = g_2(y), \partial u / \partial y \Big|_{y=0} = \\ = r_1(x), u(x; b) = h_2(x). \quad (3.5)$$

Сделаем замену искомой функции

$$u(x; y) = u_1(x; y) + w(x; y),$$

где  $w(x; y) = g_1(y) + (g_2(y) - g_1(y)) \cdot (x / a)$ ,

$$w \Big|_{x=0} = g_1(y), w \Big|_{x=a} = g_2(y),$$

$$u_1 \Big|_{x=0} = (u - w) \Big|_{x=0} = 0, u_1 \Big|_{x=a} = (u - w) \Big|_{x=a} = 0,$$

$$\partial u_1 / \partial y \Big|_{y=0} = (\partial u / \partial y - \partial w / \partial y) \Big|_{y=0} =$$

$$= r_1(x) - [g_1'(0) + (g_2'(0) - g_1'(0)) \cdot (x / a)] \equiv r_{1*}(x),$$

$$u_1 \Big|_{y=b} = (u - w) \Big|_{y=b} = h_2(x) - [g_1(b) + \\ + (g_2(b) - g_1(b)) \cdot (x / a)] \equiv h_{2*}(x),$$

Обозначим

$$f_1(x; y) \equiv f(x; y) - (\partial^2 w / \partial x^2 + \partial^2 w / \partial y^2) =$$

$$= f(x; y) - [g_1''(y) + (g_2''(y) - g_1''(y)) \cdot (x / a)].$$

Функцию  $u_1(x; y)$ , удовлетворяющую указанным выше краевым условиям и уравнению Пуассона с правой частью  $f_1(x; y)$ , ищем в виде

$$u_1(x; y) \equiv u_{1p}(x; y) = u_{1L}(x; y) + v(x; y),$$

где  $u_{1L}(x; y)$  – соответствующее решение уравнения Лапласа;

$v(x; y)$  – частное решение приведенного уравнения Пуассона со всеми нулевыми краевыми условиями.

Последовательно находим

$$u_{1L}(x; y) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n(y) \cdot \sin(\pi n x / a),$$

$$\mu_n''(y) - (\pi n/a)^2 \cdot \mu_n(y) = 0, \mu_n(y) = \\ = C_n \cdot \exp(-\pi n y / a) + D_n \cdot \exp(\pi n y / a),$$

$$\partial u_{1L} / \partial y \Big|_{y=0} = \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n'(0) \cdot \sin(\pi n x / a) =$$

$$= r_{1*}(x), u_{1L}(x; b) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n(b) \cdot \sin(\pi n x / a) = h_{2*}(x),$$

$$\mu_n'(0) = 2 \cdot a^{-1} \cdot \left( \int_0^a r_{1*}(\xi) \cdot \sin(\pi n \xi / a) \cdot d\xi \right) \equiv I_n, \mu_n(b) =$$

$$= 2 \cdot a^{-1} \cdot \left( \int_0^a h_{2*}(\xi) \cdot \sin(\pi n \xi / a) \cdot d\xi \right) \equiv J_n,$$

$$\{C_n; D_n\} = \{J_n - \lambda_n \cdot \exp(\pi n b / a); J_n + \\ + \lambda_n \cdot \exp(-\pi n b / a)\} / (2 \cdot \text{ch}(\pi n b / a)), \lambda_n = I_n \cdot (\pi n / a)^{-1}.$$

Для отыскания частного решения  $v(x; y)$  аналогично п. 3.2 имеем

$$f_1(x; y) = \sum_{n=1}^{\infty} f_{1n}(y) \cdot \sin(\pi n x / a), f_{1n}(y) =$$

$$= 2 \cdot a^{-1} \cdot \int_0^a f_1(x; y) \cdot \sin(\pi n x / a) \cdot dx,$$

$$v(x; y) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(y) \cdot \sin(\pi n x / a),$$

$$v_n''(y) - (\pi n/a)^2 \cdot v_n(y) = f_{1n}(y),$$

$$v_n(y) = a \cdot (2\pi n)^{-1} \cdot [(F_1(y) + C) \cdot \exp(\pi n y / a) - \\ - (F_2(y) + C) \cdot \exp(-\pi n y / a)],$$

$$C = [\exp(-\pi n b / a) \cdot F_2(b) - \exp(\pi n b / a) \cdot F_1(b)] / \\ / (\exp(\pi n b / a) - \exp(-\pi n b / a)),$$

$$F_1(y) = \int_0^y f_{1n}(\xi) \cdot \exp(-\pi n \xi / a) \cdot d\xi, F_2(y) = \int_0^y f_{1n}(\xi) \cdot \exp(\pi n \xi / a) \cdot d\xi.$$

Известно, что смешанные начально-краевые задачи для эллиптических дифференциальных уравнений могут иметь решения, не обладающие непрерывной зависимостью от начальных данных. Этот факт подтверждается примером Адамара, дающим решение уравнения Лапласа (3.1) в полуполосе

$$D = \{(x; y) \mid -\pi/2 \leq x \leq \pi/2; 0 \leq y\}$$

при смешанных начально- краевых условиях

$$\begin{aligned} u(-\pi/2; y) &= u(\pi/2; y) = u(x; 0) = \\ &= 0, \partial u / \partial y|_{y=0} = \exp(-n^{1/2}) \cdot \cos(n \cdot x); \\ u(x; y) &= n^{-1} \cdot \exp(-n^{1/2}) \cdot \cos(n \cdot x) \times \\ &\times (\exp(n \cdot y) - \exp(-n \cdot y)) / 2, \end{aligned}$$

где  $n$  – нечетное натуральное число.

Если  $n$  будет неограниченно возрастать, то поставленные начально-краевые условия будут мало отличаться от нулевых, тогда как решение Адамара при ненулевых значениях аргумента  $y$  будет сколь угодно далеко отходить от тривиального. Другие справочные сведения об отыскании аналитических решений классических уравнений математической физики можно найти в [1, 2].

Работа была доложена на научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.П. Королева.

#### Библиографический список

1. Будаков, Б.М. Сборник задач по математической физике / Б.М. Будаков, А.А. Самарский, А.Н. Тихонов. – М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – 684 с.
2. Араманович, И.Г. Уравнения математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин. – М.: Наука, изд-е 2-ое, 1969. – 288 с.

## ФЕРМИОННЫЙ ДЕТЕРМИНАНТ МОДЕЛИ НЕЙТРИНО НА КОНЕЧНОЙ РЕШЕТКЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Н.В. ЗВЕРЕВ, доц. каф. физики МГУЛ, канд. физ.-мат. наук

Восновные задачи квантовой теории поля входят разработка и исследование математических моделей элементарных частиц для изучения физических свойств этих частиц. В модель частиц входят определенные зависимости для матричных волновых функций – квантовых полей, зависящих от координат непрерывного пространства-времени, а также для действия этих полей. Действие является скалярной функцией данных полей, которая для описания наблюдаемых законов сохранения должна быть инвариантной при конкретных преобразованиях волновых функций. Для обеспечения такой инвариантности модель строят на определенной группе матричных преобразований над волновыми функциями, например на группе  $U(1)$ .

При исследовании моделей частиц находят многочисленные корреляционные функции, которые используют как вспомогательные величины для последующих расчетов физических характеристик частиц. Каждую корреляционную функцию вычисляют обычно методом континуального интеграла по всем волновым функциям от произведения конкретного оператора волновых функций на экспоненту действия. В результате такого интегрирования только по фермионным полям возникает весовой множи-

тель – детерминант фермионного оператора, или фермионный детерминант, который в наибольшей степени характеризует свойства фермионных частиц [1].

Главный недостаток таких моделей элементарных частиц в непрерывном пространстве-времени заключается в том, что из-за непреодолимых математических трудностей корреляционные функции этих моделей, кроме нескольких двумерных теорий, удается найти лишь приближенно и только при малой константе связи полей. Для устранения этого недостатка в работе [2] предложен математический метод моделирования частиц – метод решетки. Этот метод основан на аппроксимации непрерывного пространства-времени дискретной совокупностью точек – решеткой с заменой непрерывных волновых функций дискретными величинами. При этом величины и характеристики на решетке имеют физический смысл только в пределе стремления шага решетки к нулю.

Одним из отличий нейтрино от других частиц является его возникновение в процессах слабого взаимодействия, для которых нарушаются определенные законы сохранения. Эту особенность нейтрино учитывают введением в его модель киральных фермионных полей.

Хотя в киральных моделях на решетке устранен указанный выше недостаток непрерывных моделей, но на решетке появился новый недостаток в виде нефизических эффектов. В работе [3] показано, что в корреляционных функциях киральных моделей на бесконечной решетке нефизические эффекты устраняются при введении в действия этих моделей вспомогательных слагаемых – контрчленов с определенными значениями их коэффициентов. Однако практически изучают модели не на бесконечной, а на конечной решетке, и в этом случае целесообразность введения контрчленов не является очевидной и требует исследований.

Целью данной работы являются аналитическое и численное исследование фермионного детерминанта киральной U(1) модели нейтрино с контрчленом в действии на двумерной конечной решетке пространства-времени и выяснение вопроса согласия этого детерминанта в разных полях с детерминантом непрерывной теории.

Выбор группы U(1), фермионного детерминанта, определенных полей и двумерной решетки вызван тем, что, во-первых, при этих условиях известно точное решение для детерминанта непрерывной модели [4, 5], с которым будет выполнено сравнение полученных ниже результатов на решетке, а во-вторых, расчеты для указанных условий на конечной решетке являются достаточно точными и реальными по продолжительности.

### 1. Детерминант модели с контрчленом на решетке в однородном поле

#### 1.1. Действие модели с контрчленом на решетке

В работе [5] получено соотношение для фермионного детерминанта киральной U(1) 11112 модели нейтрино в непрерывном пространстве-времени. Эта модель состоит из четырех положительно-киральных фермионных частиц с безразмерным зарядом 1 и одного отрицательно-кирального фермиона с зарядом 2. Однако переход к конечной решетке для данной модели приводит к нефизическим эффектам и неправильным результатам. Поэтому исследуем фермионный детерминант такой модели на решетке, но уже с контрчленом в ее действии. Это действие на решетке имеет вид [3]

$$S_{CK} = S_{CW} + \frac{K_C}{(2\pi)^2} \sum_{x,\mu} A_{x,\mu}^2, \quad (1)$$

где  $S_{CW}$  – действие модели без контрчлена [2]

$$S_{CW} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^4 \left\{ \sum_{x,\mu} \left[ \bar{\Psi}_{+k,x} \gamma_\mu (P_+ U_{x,\mu} + P_-) \Psi_{+k,x+\hat{\mu}} - \bar{\Psi}_{+k,x} (\Psi_{+k,x+\hat{\mu}} - \Psi_{+k,x}) \right] + \frac{1}{2} \sum_{x,\mu} \left[ \bar{\Psi}_{-x} \gamma_\mu (P_+ + P_- U_{x,\mu}^2) \Psi_{-x+\hat{\mu}} - \bar{\Psi}_{-x} (\Psi_{-x+\hat{\mu}} - \Psi_{-x}) \right] \right\} + h.c.$$

Здесь  $\Psi_{+k,x}$  – поле, описывающее положительно-киральный фермион с безразмерным зарядом 1;  $\Psi_{-x}$  – поле, описывающее отрицательно-киральный фермион с зарядом 2; массы этих полей  $m_0 = 0$ ;  $x$  – узлы двумерной конечной решетки с целочисленными компонентами  $x_\mu = -N/2 + 1, \dots, N/2$ ;  $\mu = 1, 2$ ;  $N$  – четное число узлов решетки вдоль одного направления  $\mu$ ;  $\gamma_\mu$  – эрмитовы матрицы Дирака размером  $2 \times 2$ ;  $P_\pm$  – киральные проекторы

$$P_\pm = 1/2(1 \pm \gamma_3);$$

где  $\gamma_3$  – киральная матрица Дирака в двумерном пространстве

$$\gamma_3 = -i\gamma_1\gamma_2;$$

$U_{x,\mu}$  – решеточное внешнее U(1) поле

$$U_{x,\mu} = \exp(iA_{x,\mu}),$$

где  $A_{x,\mu}$  – вещественный потенциал внешнего поля;

$K_C$  – вещественный коэффициент контрчлена;

$h.c.$  – эрмитово сопряжение.

Шаг решетки выбран равным  $a = 1$ . На конечной решетке внешнее поле удовлетворяет периодическим граничным условиям, а фермионные поля – антипериодическим [5]

$$A_{x\pm N\hat{\nu},\mu} = A_{x,\mu}, \Psi_{x\pm N\hat{\nu}} = -\Psi_x, \nu = 1, 2.$$

#### 1.2. Однородное поле и детерминант

Получим выражение для фермионного детерминанта рассматриваемой модели на конечной решетке во внешнем однородном поле, потенциал которого взят из [5] в виде

$$A_{x,\mu} = (2\pi / N)h_\mu, \quad (2)$$

где  $h_\mu$  – вещественные числа, одинаковые для всех узлов решетки  $x$ ;

$\mu = 1, 2$ . Подставляя выражение (2) в действие (1), переходя в импульсное пространство и используя представление матриц  $\gamma_\mu$  в виде

$$\gamma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \gamma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix},$$

выполним необходимое интегрирование по фермионным полям в континуальном интеграле. В результате получим выражение для фермионного

детерминанта в однородном поле, нормированного на 1 при  $h_1 = h_2 = 0$

$$D_{CK}[h] = D_{CW}[h] \exp\{K_C(h_1^2 + h_2^2)\}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} D_{CW}[h] &= D_{+W}^4[h] D_{+W}^*[2h], \\ D_{+W}[h] &= \prod_{p=-N/2+1}^{N/2} \frac{G[p, h]}{G[p, 0]}, \\ G[p, h] &= [B_1(p, h) + iB_2(p, h)] \times \\ &\times [B_1(p, 0) + iB_2(p, 0)] + W^2(p), \\ B_\mu(p, h) &= \sin(2\pi / N)(p - h_\mu - 1/2), \\ W(p) &= \sum_{\mu=1}^2 (1 - \cos(2\pi / N)(p_\mu - 1/2)). \end{aligned}$$

Произведение сомножителей в (3) выполнено по всем целочисленным компонентам  $p_\mu$  двумерного импульса  $p_\mu = -N/2, \dots, N/2; \mu = 1, 2$ .

Детерминант (3) является комплексной величиной

$$D_{CK}[h] = |D_{CK}[h]| \exp\{i \operatorname{Arg} D_{CK}[h]\}.$$

Видно, что введение контрчлена с вещественным коэффициентом  $K_C$  затрагивает только модуль детерминанта  $|D_{CK}[h]|$ , не изменяя его аргумента

$$\operatorname{Arg} D_{CK}[h] = \operatorname{Arg} D_{CW}[h].$$

Значения решеточного детерминанта по (3) будем сравнивать в пределе  $N \rightarrow \infty$  со значениями детерминанта этой теории в непрерывном пространстве-времени. Выражение для такого непрерывного детерминанта  $D_{CC}[h]$  имеет вид [5]

$$D_{CC}[h] = D_{+C}^4[h] D_{+C}^*[2h], \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} D_{+C}[h] &= e^{ih_2(h_1 + ih_2)} \prod_{n=1}^{\infty} F[n, h] F[n, -h], \\ F[n, h] &= \frac{1 + e^{-2\pi(n-1/2) + 2\pi i(h_1 + ih_2)}}{1 + e^{-2\pi(n-1/2)}}. \end{aligned}$$

Решеточный (3) и непрерывный (4) детерминанты удовлетворяют свойствам симметрии в виде

$$D[h_1, h_2] = D^*[h_2, h_1] = D^*[-h_1, h_2]. \quad (5)$$

Непрерывный детерминант (4) также обладает свойством периодичности

$$\begin{aligned} D_{CC}[h_1, h_2] &= D_{CC}[h_1 + n_1, h_2 + n_2], \\ n_1, n_2 &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned}$$

### 1.3. Оценки корреляционных функций модели на решетке

Из свойств симметрии (5) следует, что выражения для  $\ln|D_{CK}[h]|$  и  $\ln|D_{CC}[h]|$  состоят из суммы соответствующих выражений для однопетлевых фермионных корреляционных функций

(диаграмм) второго, третьего и более высоких порядков, а выражения для  $\operatorname{Arg} D_{CK}[h]$  и  $\operatorname{Arg} D_{CC}[h]$  являются суммой выражений для диаграмм третьего и более порядков. Аналитические оценки с учетом аппроксимаций  $B_\mu(p, h) \approx 2\pi(p_\mu - h_\mu - 1/2) / N$  и  $W(p) \approx 0$  в (3) при  $p_\mu \ll N$  и  $|h_\mu| \ll N$  показывают, что решеточные выражения  $(\partial^3 / (\partial h_\mu \partial h_\nu \partial h_\lambda)) \ln|D_{CK}[h]|$  в пределе  $N \rightarrow \infty$  отличаются от непрерывных зависимостей  $(\partial^3 / (\partial h_\mu \partial h_\nu \partial h_\lambda)) \ln|D_{CC}[h]|$  на величины порядка  $O(1/N)$ . Аналогичные оценки показывают отличие  $\operatorname{Arg} D_{CK}[h]$  и  $\operatorname{Arg} D_{CC}[h]$  на величины  $O(1/N)$ . Таким образом,

$$\begin{aligned} (\partial^3 / (\partial h_\mu \partial h_\nu \partial h_\lambda)) \ln(|D_{CK}[h]| / |D_{CC}[h]|) &= O(1/N), \\ \operatorname{Arg} D_{CK}[h] &= \operatorname{Arg} D_{CC}[h] + O(1/N). \end{aligned} \quad (6)$$

Поэтому согласие детерминантов  $D_{CK}[h]$  и  $D_{CC}[h]$  достигается при согласии выражений для фермионных диаграмм второго порядка. Эти решеточные и непрерывные выражения в силу (5) имеют вид  $-1/2 \Pi_C(0) (h_1^2 + h_2^2)$ , где  $\Pi_C(0)$  – решеточный или непрерывный поляризационные операторы при нулевом импульсе  $k = 0$

$$\Pi_C(0) = -\frac{\partial^2}{\partial h_1^2} \ln|D_C[h]| \Big|_{h_1=h_2=0}. \quad (7)$$

Здесь  $\Pi_C(0) = \Pi_{CK}(0)$ ,  $\Pi_{CW}(0)$  или  $\Pi_{CC}(0)$  при  $D_C[h] = D_{CK}[h]$ ,  $D_{CW}[h]$  или  $D_{CC}[h]$ , соответственно.

Учитывая (6) и (7), получаем, что согласие решеточного детерминанта (3) с контрчленом и непрерывного детерминанта (4), т.е. равенство  $D_{CK}[h] = D_{CC}[h]$  в пределе  $N \rightarrow \infty$  достигается при выполнении в этом пределе соотношения с коэффициентом контрчлена  $K_C$

$$\Pi_{CW}(0) = \Pi_{CC}(0) + 2 K_C, \quad (8)$$

где  $\Pi_{CC}(0) = (1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 2^2)\pi = 8\pi$  [5].

### 1.4. Численное значение коэффициента контрчлена

Найдем численно значение коэффициента  $K_C$  контрчлена, при котором в пределе  $N \rightarrow \infty$  выполняется равенство  $D_{CK}[h] = D_{CC}[h]$ . Из этого равенства, с учетом (3) и (4), а также, согласно (6) равенства  $\operatorname{Arg} D_{CK}[h] = \operatorname{Arg} D_{CC}[h]$  при  $N \rightarrow \infty$  получим в этом пределе соотношение

$$\delta_C = \ln(|D_{CC}[h]| / |D_{CW}[h]|) = K_C(h_1^2 + h_2^2).$$

Нами с использованием формулы для  $D_{CW}[h]$  в (3) и формулы (4) были вычислены значения величины  $\delta_C$  в зависимости от  $h_1^2 + h_2^2$  при разных, достаточно больших значениях числа узлов  $N$ . Результаты таких численных расчетов даны на рис. 1.

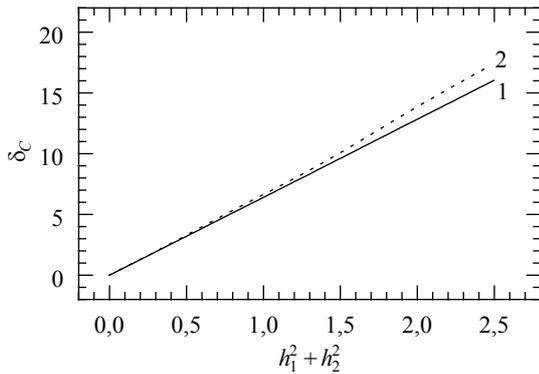


Рис. 1. Значения  $\delta_c$  в зависимости от  $h_1^2 + h_2^2$  для модели нейтрино на решетке в однородном поле: 1 –  $N = 160$ ,  $h_1 = 0,2$ ; 2 –  $N = 32$ ,  $h_1 = 0$ .

Эти зависимости оказались практически прямо пропорциональными с угловым коэффициентом  $K_c$ , имеющим значение при  $N = 160$

$$K_c = \delta_c / (h_1^2 + h_2^2) = 6,4005$$

**1.5. Аналитическое значение коэффициента контрчлена**

Сначала найдем величину  $\Pi_{CW}(0)$  по формуле (7) с учетом соотношения  $D_{CW}[h]$  по (3)

$$\Pi_{CW}(0) = 8 \sum_{p=-N/2+1}^{N/2} \left\{ \frac{B_1'^2(p,0)[2B_1^2(p,0)+W^2(p)]}{[B^2(p,0)+W^2(p)]^2} - \frac{B_1(p,0)B_1''(p,0)+B_1'^2(p,0)}{B^2(p,0)+W^2(p)} \right\}, \quad (9)$$

где  $B_\mu(p, h)$  и  $W(p)$  определены в (3);  $B^2(p, h) = B_1^2(p, h) + B_2^2(p, h)$ ; символ ' обозначает операцию дифференцирования  $B_\mu(p, h)$  по  $h_\mu$ ; суммирование выполнено по всем целочисленным компонентам  $p_\mu$  двумерного импульса

$$p_\mu = -N/2 + 1, \dots, N/2; \mu = 1, 2.$$

Теперь, подставляя (9) в (8), переходя к пределу  $N \rightarrow \infty$  и заменяя суммирование интегрированием по непрерывным компонентам  $p_1$  и  $p_2$  от  $-\pi$  до  $\pi$ , получим выражение для коэффициента контрчлена

$$K_c = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dp_1 dp_2 \frac{\partial}{\partial p_1} \left( \frac{-4s_1(p)s_1'(p)}{s^2(p)+w^2(p)} \right) - 4\pi + \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dp_1 dp_2 \frac{4s_1'(p)w(p)[s_1'(p)w(p)-2s_1^2(p)]}{[s^2(p)+w^2(p)]^2}, \quad (10)$$

где  $s_\mu(p) = \sin p_\mu$ ,  $s_\mu'(p) = \cos p_\mu$ ,  $\mu = 1, 2$ ;

$$s^2(p) = s_1^2(p) + s_2^2(p), w(p) = \sum_{\mu=1}^2 (1 - \cos p_\mu).$$

Первый интеграл в (10) после преобразования в одномерный интеграл по окружности бесконечно малого радиуса с центром в точке  $p_1 = p_2 = 0$  дает значение, равное  $4\pi$ . Второй интеграл вычис-

ляем явно последовательным интегрированием. В итоге после громоздких преобразований получим значение коэффициента  $K_c$  контрчлена в действии рассматриваемой модели нейтрино на решетке

$$K_c = 4 \left( \frac{5}{3} \pi + \pi^2 - \frac{64\pi^2}{27\sqrt{3}} \right) = 6,3948. \quad (11)$$

Это аналитическое значение коэффициента  $K_c$  практически совпадает с найденным численным значением  $K_c = 6,4005$ .

**1.6. Сравнение детерминантов модели на решетке и непрерывной теории**

Нами выполнены численные расчеты зависимости модуля  $|D_{CK}[h]$  и аргумента  $\text{Arg}D_{CK}[h]$  решеточного детерминанта от однородного поля  $h_2$  при постоянных значениях  $h_1$  и различных  $N$  по формуле (3) при полученном аналитическом значении  $K_c$  по (11). Типичные результаты расчетов для случая  $h_1 = 0,2$  даны на рис. 2. С учетом свойств симметрии (5) на этом рисунке продолжим по  $h_2$  полученные данные в область  $h_2 < 0$ . В результате получим, что при  $N = 32$  как модуль, так и аргумент детерминанта модели нейтрино с контрчленом на решетке хорошо согласуются с модулем  $|D_{CC}[h]$  и аргументом  $\text{Arg}D_{CC}[h, k]$  детерминанта непрерывной теории по (4) в интервале  $|h_2| \leq 0,7$ . При  $N = 160$  интервал согласия расширяется до  $|h_2| \leq 1,5$ .

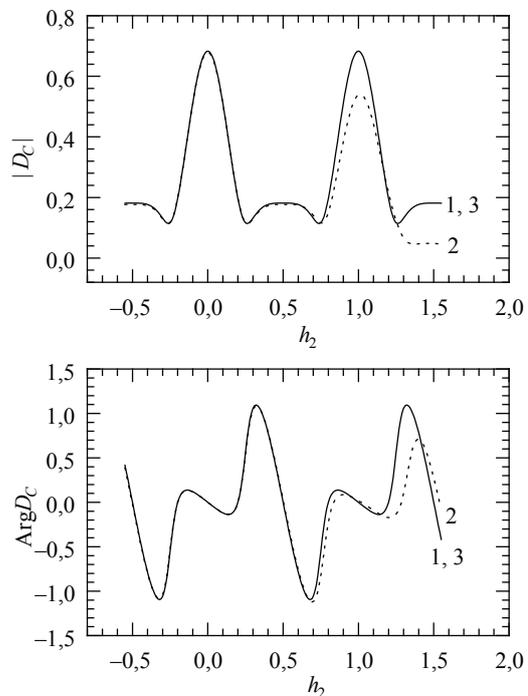


Рис. 2. Модули  $|D_c|$  и аргументы  $\text{Arg}D_c$  детерминантов модели нейтрино на решетке и непрерывной теории в зависимости от однородного поля  $h_2$  при  $h_1 = 0,2$ : 1 –  $|D_{CC}|$  и  $\text{Arg}D_{CC}$  по (4) непрерывной теории; 2, 3 –  $|D_{CK}|$  и  $\text{Arg}D_{CK}$  по (3) модели с контрчленом на решетке: 2 –  $N = 32$ , 3 –  $N = 160$ .

Таким образом, найденное значение коэффициента контрчлена в действии рассматриваемой модели нейтрино на решетке в случае однородного поля приводит к правильным результатам.

## 2. Детерминант модели с контрчленом на решетке в неоднородном поле

### 2.1. Неоднородное поле и детерминант

Получим выражение для фермионного детерминанта рассматриваемой модели на конечной решетке во внешнем неоднородном поле с постоянным импульсом. Потенциал такого поля имеет вид [4]

$$A_{x,\mu} = (2\pi / N) h_\mu \cos(2\pi / N)(kx + k_\mu / 2), \quad (12)$$

где  $h_\mu$  – вещественные величины, не зависящие от узлов решетки;  $kx = k_1x_1 + k_2x_2$ ;  $x_\mu$  и  $k_\mu$  принимают целочисленные значения  $x_\mu, k_\mu = -N/2 + 1, \dots, N/2$ ;  $\mu = 1, 2$ ;  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$ .

Подставляя потенциал (12) в действие (1), используя то же представление матриц  $\gamma_\mu$ , что и при выводе формулы (3), и интегрируя по фермионным полям, получим выражение для фермионного детерминанта модели нейтрино на решетке в неоднородном поле при  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$

$$D_{CK}[h, k] = D_{CW}[h, k] \exp\{1/2 K_C(h_1^2 + h_2^2)\}. \quad (13)$$

Здесь  $K_C$  – постоянный вещественный коэффициент в контрчлене действия (1),  $D_{CW}[h, k]$  – нормированный на 1 при  $h_1 = h_2 = 0$  комплексный детерминант данной модели без контрчлена в неоднородном поле (12). Для этого детерминанта при получении (13) нами найдено выражение при произвольном потенциале  $A_{x,\mu}$  внешнего поля

$$D_{CW} = (\det D[U] D^{-1}[1]^4) (\det D[U^2] D^{-1}[1])^*, \quad (14)$$

где блочная матрица

$$D[U] = \begin{pmatrix} W[1] & -B^*[1] \\ B[U] & W[1] \end{pmatrix};$$

где  $W[1]$ ,  $B[U]$  – матрицы, определяемые на узлах двумерной решетки по формулам

$$W_{xy}[1] = \frac{1}{2} (4\delta_{xy} - \delta_{x+i,y} - \delta_{x-2,y} - \delta_{x,y+i} - \delta_{x,y+2}),$$

$$B_{xy}[U] = \frac{1}{2} (U_{x,1} \delta_{x+i,y} - U_{y,1}^* \delta_{x,y+i}) + \frac{i}{2} (U_{x,2} \delta_{x+2,y} - U_{y,2}^* \delta_{x,y+2}).$$

Здесь  $\delta_{xy}$  – символ Кронекера для узлов решетки  $x$  и  $y$ ;  $B[1]$  и  $D[1]$  – матрицы  $B[U]$  и  $D[U]$  при  $U_{x,\mu} = 1$  для всех  $x$  и  $\mu$ ;  $D[U^2]$  – матрица  $D[U]$  при замене всех  $U_{x,\mu}$  на  $U_{x,\mu}^2 = \exp(2iA_{x,\mu})$ . Как и в случае однородного поля, в силу вещественности коэффициента  $K_C$  справедливо равенство  $\text{Arg} D_{CK}[h, k] = \text{Arg} D_{CW}[h, k]$ .

Значения решеточного детерминанта (13) будем сравнивать в пределе  $N \rightarrow \infty$  со значениями

детерминанта этой теории в непрерывном пространстве-времени. Выражение для такого непрерывного детерминанта имеет вид [4]

$$D_{CC}[h, k] = \exp \left\{ -4\pi \frac{(k_1 h_2 - k_2 h_1)^2}{k_1^2 + k_2^2} \right\}, \quad (15)$$

причем  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$ . Особенностью данного непрерывного детерминанта является его вещественность, т.е.  $\text{Arg} D_{CC}[h, k]$ .

### 2.2. Оценки корреляционных функций модели на решетке

Оценки выражений однопетлевых фермионных корреляционных функций (диаграмм), дающих вклад в  $|\ln D_{CK}[h, k]|$  и  $\text{Arg} D_{CK}[h, k]$ , показывают, что выражения решеточных диаграмм третьего и более высоких порядков в пределе  $N \rightarrow \infty$  стремятся к соответствующим выражениям диаграмм непрерывной теории, которые, согласно [4], при  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$  равны нулю. Выражения решеточных диаграмм второго порядка для  $\text{Arg} D_{CK}[h, k]$  при  $N \rightarrow \infty$  пропорциональны выражениям непрерывных диаграмм с киральной матрицей Дирака  $\gamma_3$ , которые для рассматриваемой модели сокращаются. Итак, при  $N \rightarrow \infty$  и  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$  имеем

$$\begin{aligned} (\partial^3 / (\partial h_\mu \partial h_\nu \partial h_\lambda)) \ln |D_{CK}[h]| &\rightarrow \\ &\rightarrow 0, \text{Arg} D_{CK}[h, k] \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Из данных оценок следует, что согласие детерминантов  $D_{CK}[h, k]$  и  $D_{CC}[h, k]$  достигается при согласии выражений диаграмм второго порядка для  $\ln |D_{CK}[h, k]|$  и  $\ln |D_{CC}[h, k]|$ . Эти выражения имеют вид

$$-\frac{1}{2} \sum_{\mu, \nu=1}^2 h_\mu h_\nu \Pi_{\mu\nu}(k),$$

где  $\Pi_{\mu\nu}(k)$  – решеточный или непрерывный поляризационные операторы при  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$

$$\Pi_{\mu\nu}(k) = - \frac{\partial^2}{\partial h_\mu \partial h_\nu} \ln |D_C[h, k]| \Big|_{h_1=h_2=0}. \quad (17)$$

Здесь  $\Pi_{\mu\nu}(k) = \Pi_{\mu\nu}^{CK}(k)$ ,  $\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k)$  или  $\Pi_{\mu\nu}^{CC}(k)$  при  $D_C[h, k] = D_{CK}[h, k]$ ,  $D_{CW}[h, k]$  или  $D_{CC}[h, k]$ , соответственно.

С учетом (16) и (17) получаем, что согласие детерминанта (13) модели с контрчленом на решетке и детерминанта (15) непрерывной теории, т.е. равенство  $D_{CK}[h, k] = D_{CC}[h, k]$  в пределе  $N \rightarrow \infty$  достигается при выполнении в данном пределе соотношения

$$\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k) = \Pi_{\mu\nu}^{CC}(k) + K_C \delta_{\mu\nu}. \quad (18)$$

где  $\delta_{\mu\nu}$  – символ Кронекера;  $\mu, \nu = 1, 2$ .

**2.3. Аналитическое значение коэффициента контрчлена**

Найдем значение коэффициента контрчлена, при котором в пределе  $N \rightarrow \infty$  и  $k_1^2 + k_2^2 \neq 0$  справедливо равенство (18). Сначала из (17) с учетом (14) в неоднородном поле (12) получим выражение для  $\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k)$

$$\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k) = 4 \sum_{p=-N/2+1}^{N/2} [G_{\mu\nu}(p, k) - \delta_{\mu\nu} K_{\mu}(p)], \quad (19)$$

где

$$G_{\mu\nu}(p, k) = B_{\mu}'(p, -k/2)B_{\nu}'(p, -k/2)L(p) \times \\ \times L(p+k)[B_{\mu}(p, 0)B_{\nu}(p+k, 0) + B_{\mu}(p+k, 0) \times \\ \times B_{\nu}(p, 0) - \delta_{\mu\nu} \sum_{\lambda=1}^2 B_{\lambda}(p+k, 0)B_{\lambda}(p, 0)],$$

$$K_{\mu}(p) = B_{\mu}(p, 0)B_{\mu}''(p, 0)L(p), L(p) = [B^2(p, 0) + W^2(p)]^{-1}.$$

Здесь  $B^2(p, h) = B_1^2(p, h) + B_2^2(p, h)$ ;  $B_{\mu}(p, h)$  и  $W(p)$  определены в (3); символ ' означает операцию дифференцирования  $B_{\mu}(p, h)$  по  $h_{\mu}$ ; суммирование выполнено по всем целочисленным компонентам  $p_{\mu}$  двумерного импульса, принимающим значения  $p_{\mu} = -N/2 + 1, \dots, N/2$ .

Далее, из (17) с учетом (15) находим выражение для  $\Pi_{\mu\nu}^{CC}(k)$

$$\Pi_{\mu\nu}^{CC}(k) = 8\pi \left( \delta_{\mu\nu} - \frac{k_{\mu}k_{\nu}}{k_1^2 + k_2^2} \right). \quad (20)$$

Нами были выполнены аналитические оценки величины  $\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k)$  по (19) в пределе  $N \rightarrow \infty$  с использованием вычитания из выражений под знаком суммы в (19) соответствующих выражений при  $k_1 = k_2 = 0$ . Подставляя в соотношение (18) полученное оценочное выражение для  $\Pi_{\mu\nu}^{CW}(k)$ , а также  $\Pi_{\mu\nu}^{CC}(k)$  по (20), и переходя в пределе  $N \rightarrow \infty$  от суммирования к интегрированию, получим для коэффициента контрчлена  $K_C$  в случае неоднородного поля формулу (10). Поэтому аналитическое значение коэффициента  $K_C$ , обеспечивающее в пределе  $N \rightarrow \infty$  согласие решеточного и непрерывного фермионных детерминантов  $D_{CK}[h, k]$  и  $D_{CC}[h, k]$ , при переходе от однородного поля к неоднородному не меняется и равно по (11)  $K_C = 6,3948$ .

**2.4. Сравнение детерминантов модели на решетке и непрерывной теории**

В случае внешнего неоднородного поля с потенциалом (12) матрица  $D[U]$  в фермионном детерминанте  $D_{CW}$  по (14) не диагонализуется. Это приводит к значительному усложнению и увеличению продолжительности вычислений. Поэтому нами выполнены численные расчеты величин  $|D_{CK}[h, k]|$  и  $\text{Arg}D_{CK}[h, k]$  по формуле (13) с

учетом (14) только при относительно небольших числах узлов  $N = 8, 12, 16, 20$  и  $24$  и в неоднородном поле только с одним набором величин  $h_1 = 0,2, h_2 = 0,4$  и  $k_1 = k_2 = 1$  при полученном аналитическом значении  $K_C$  по (11). Результаты расчетов представлены на рис. 3. Видно, что в пределе  $N \rightarrow \infty$  решеточные величины  $|D_{CK}[h, k]|$  и  $\text{Arg}D_{CK}[h, k]$  стремятся к соответствующим непрерывным значениям  $|D_{CC}[h, k]|$  и  $\text{Arg}D_{CC}[h, k]$ , вычисленным по формуле (15).

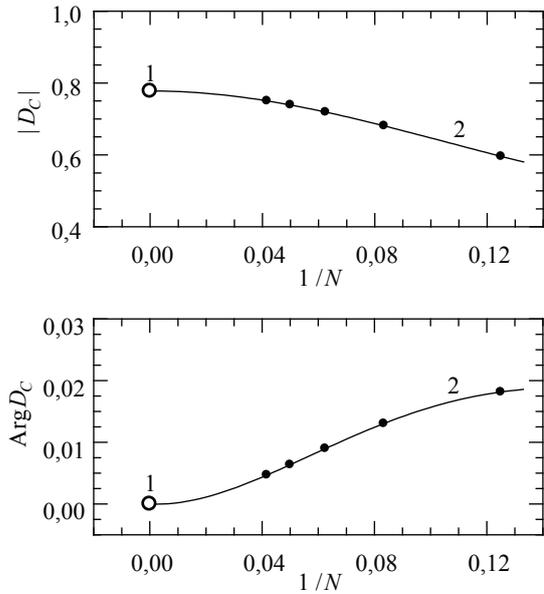


Рис. 3. Модули  $|D_C|$  и аргументы  $\text{Arg}D_C$  детерминантов модели нейтрино на решетке и непрерывной теории в зависимости от  $1/N$  в неоднородном поле при  $h_1 = 0,2, h_2 = 0,4$  и  $k_1 = k_2 = 1$ : 1 -  $|D_{CC}|$  и  $\text{Arg}D_{CC}$  по (15) непрерывной теории; 2 -  $|D_{CK}|$  и  $\text{Arg}D_{CK}$  по (13) модели с контрчленом на решетке.

Таким образом, найденное значение коэффициента контрчлена в действии рассматриваемой модели нейтрино на решетке приводит к правильным результатам и в случае неоднородного поля.

**Заключение**

В данной работе выполнены аналитическое и численное исследования фермионного детерминанта киральной  $U(1)$  11112 модели нейтрино с контрчленом в действии на двумерной конечной решетке пространства-времени во внешних однородном и неоднородном полях. Для каждого из этих полей получено аналитическое и численное значение коэффициента контрчлена, при котором детерминант модели на решетке согласуется с детерминантом непрерывной теории. Итак, рассматриваемая модель на решетке с таким значением коэффициента приводит к правильным результатам. Все найденные значения этого коэф-

фициента контрчлена, обеспечивающие правильные результаты, совпадают.

Автор выражает благодарность А.А. Славнову за полезные обсуждения и активную поддержку.

#### Библиографический список

1. Славнов, А.А. Введение в квантовую теорию калибровочных полей / А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
2. Wilson K.G. Confinement of quarks // Phys. Rev. D. 1974. V. 10. P. 2445–2459.
3. Borrelli A., Maiani L., Sisto R., Rossi G., Testa M. Neutrinos on the lattice. The regularization of a chiral gauge theory // Nucl. Phys. B. 1990. V. 333. P. 335–356.
4. Narayanan R., Neuberger H. A construction of lattice chiral gauge theories // Nucl. Phys. B. 1995. V. 443. P. 305–385.
5. Narayanan R., Neuberger H. Anomaly free U(1) chiral gauge theories on a two dimensional torus // Nucl. Phys. B. 1996. V. 477. P. 521–548.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ-САЙТОВ

Т.Н. ЦАРЕВА, *асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

Вопросы обеспечения качества являются одними из основополагающих, которые возникают на этапе разработки любых проектов, производственных или информационных технологий (в частности интернет-сайтов). Как известно, качество объекта – это совокупность свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. На сегодняшний день универсального метода оценивания качества интернет-сайта не существует. Причем отнюдь не из-за недостатка материалов о качестве [1], а из-за трудностей их применения. Сложность заключается в следующем:

- определение показателей и критериев качества – это достаточно трудоемкая задача из-за их большого количества, а иногда и их противоречивости;
- разработчик и потребитель интернет-сайта имеют разные взгляды на качество, и как следствие возникают проблемы в ранжировании показателей и сопоставлении их друг с другом;
- отсутствует формализованный подход в выборе наиболее подходящего метода оценивания качества интернет-сайта как в целом, так и по показателям и критериям качества;
- невозможно количественно оценить некоторые показатели.

Поэтому разработка эффективного метода оценивания качества интернет-сайтов является актуальной задачей и по сей день.

#### Требования к качеству интернет-сайтов

Вопросам качества программного обеспечения посвящено немало фундаментальных трудов, практических методик, отечественных и международных стандартов [1]. Что же касается сферы интернет-технологий, то говорить о рас-

пространении каких-то единых стандартов качества пока преждевременно [2]. Лишь на Западе разработан ряд стандартов, описывающих как процессы проектирования интернет-систем (например, стандарты ISO 9294:1990, ISO 6592:1986 и др.), так и процессы анализа юзабилити сайта (например, стандарт ISO 9241-11 или Common Industry Format 1.1) [2].

На этапе проектирования учитываются следующие требования к качеству и оцениваются соответствующие им показатели [2]:

- 1) структура сайта (логичность структуры разделов сайта, наличие гиперссылок, краткость информации);
- 2) навигация (наименование разделов, наличие поиска и его удобство, дизайн навигации, анонсирование разделов на главной странице);
- 3) дизайн (комбинация цветов, шрифтовое оформление, пропорции, иллюстрации, возможность размещения баннеров);
- 4) юзабилити (соответствие технической оснащенности пользователей, успешность решения пользователями поставленных задач, удобство восприятия и использования сайта, удовлетворенность от использования);
- 5) технические требования (чистота кода, размер страниц сайта, возможности по прописыванию отдельных тэгов для каждой страницы).

На этапе эксплуатации готового интернет-сайта учитываются следующие требования к качеству и оцениваются соответствующие им показатели:

- 1) технологические (скорость загрузки при различной пропускной способности канала; отображение сайта в различных браузерах при различном разрешении монитора, наличие неработающих (битых) ссылок на сайте, чистота

HTML-кода, работоспособность скриптов, работоспособность сервера);

2) оптимизация сайта (нахождение по профильным запросам в ведущих поисковых системах, трафик поисковых систем и его доля в общем трафике, позиции в рейтингах, степень проиндексированности страниц, технические аспекты индексации (настройки сервера, правильность использования некоторых HTML-тэгов));

3) статистические (при помощи анализатора логов или систем статистики (SpyLog, HotLog) анализируется аудитория сайта по следующим показателям: посещаемость (хиты, хосты), популярность страниц, пути пользователей по сайту, поисковые слова по которым посетители пришли на сайт, ссылающиеся страницы);

4) юзабилити (один из самых важных и сложных моментов при оценке качества; изучается при помощи большого количества специальных методов [3]);

5) функциональность (в зависимости от назначения интернет-сайта могут оцениваться такие показатели, как наличие контактных данных организации на сайте, удобство совершения заказа, прайс-лист и его актуальность, оказание технической и сервисной поддержки, поддержка совершения покупок при помощи платежных систем).

### Методы оценивания качества интернет-сайтов

В настоящее время в Российской Федерации в зависимости от назначения сайта используются следующие методы оценивания качества интернет-сайтов:

1. *Метод индивидуальных экспертных оценок.*

Вообще говоря, этот метод включает в себя метод анкетного опроса, интервью и метод «Дельфи». Но для оценивания качества веб-сайтов используют следующие два нижеизложенных:

1.1. *Метод анкетного опроса* (предложен в [5] для оценивания качества сайтов любого назначения). Используется способ опроса – заочное анкетирование [4]. Процедура оценивания проходит в несколько этапов:

1 этап. Формирование репрезентативной с точки зрения качества и количества группы независимых экспертов. Проблема подбора экспертов является одной из наиболее сложных из-за

отсутствия методов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы.

2 этап. Составление в анкете перечня требований, включающих основные показатели, учитывающие потребности пользователей.

В [5] предложены следующие показатели: актуальность и уникальность материала; дизайн сайта; юзабилити; частота обновления ресурса; интересность тематики; незахламленность ресурса; грамотность и правильность языка; удобоусвояемость материала; общественная полезность ресурса; количество страниц; общее впечатление от ресурса; наличие английской версии или версии на других языках; наличие RSS, WAP-версии, иллюстраций, рассылки, поясняющих материалов; наличие обратной связи; наличие новостной страницы; наличие корректировки вышеописанных пунктов.

3 этап. Раздача анкет экспертам.

4 этап. В соответствии со шкалой по каждому показателю начисление баллов, которые заносятся в анкету. Количество баллов по пункту коррелировано с важностью этого пункта.

5 этап. Нахождение среднего балла по каждому оцениваемому показателю как среднее арифметическое оценок экспертов:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, \quad i=1, \dots, m$$

где  $x_i$  –  $i$ -й показатель;

$x_j$  – баллы  $j$  – того эксперта в соответствии со шкалой;

$n$  – численность группы экспертов;

$m$  – количество показателей.

6 этап. Определение комплексного показателя как простой суммы средних баллов по каждому показателю

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$

Этот показатель называется коэффициент качества ресурса (ККР) *Pro*.

Существует также *ККР Base* – в роли экспертов выступают сами владельцы сайта. Результат проверяется на корректность участником проекта.

7 этап. Эксперт-оценщик пишет краткую характеристику и рекомендации владельцу сайта. Высказывает свои замечания, если таковые будут. Характеристика оценщиков нигде не публикуется, передается только владельцу интернет-ресурса.

Переоценка ресурса производится по заявке его владельца. Если в результате новой оценки интернет-ресурс потерял баллы, все равно берется новое значение ККР.

Недостатками метода являются: сложность формирования группы экспертов-специалистов; субъективизм мнения эксперта; большие временные затраты.

*1.2. Метод Дельфы, или Дельфийский метод* (предложен в [6] для оценивания образовательных сайтов).

Метод Дельфы направлен на усовершенствование процесса выработки суждения группой экспертов. При этом мнение каждого специалиста сравнивается с общим результатом во избежание искажающего воздействия внушения или приспособления к мнению большинства. Метод предусматривает опрос экспертов в несколько этапов, обработку результатов каждого этапа, информирование их об этих результатах и вновь повторение такой же процедуры [6] (это способ так называемого интерактивного анкетного опроса).

1 – 4 этапы аналогичны методу анкетного опроса 1.1.

В [6] предложен следующий перечень требований, предъявляемых к образовательному веб-сайту: к содержанию, к дизайну, технические, к эксплуатации. Эти требования подробно расписаны по критериям.

5 этап. Находится средний балл по каждому требованию

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{k+1} x_i f_i}{n}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – различные баллы  $i$  – того требования (0, 1, 2, 3, 4);

$f_i$  – частота повторений балла для каждого требования;

$n$  – численность группы экспертов.

6 этап. Доведение предварительной оценки до сведения экспертов. Составление второй подобной анкеты, где указывается значение среднего балла и частота повторения значений баллов по каждому требованию. Вторичное оценивание ресурса экспертами. Анализ ответов разработчиками аналогичен 5-му этапу. Таким образом устанавливается совпадение или различие во мнениях.

7 этап. Составление третьей анкеты на основе результатов второго анкетирования для повышения согласованности экспертных оценок, где указываются лишь средние баллы. Анализ от-

ветов самими экспертами для изучения мнения других. Пересмотр предыдущих ответов в свете коллективного мнения. Повторное заполнение каждым опрашиваемым экспертом анкет и написание комментариев. Анализ третьего (заключительного) анкетирования разработчиками аналогичен 5 этапу.

8 этап. Учет степени согласованности мнений экспертов по коэффициенту конкордации. При отсутствии согласованности (коэффициент конкордации менее 0,7) мнений экспертов может возникнуть необходимость в проведении еще одного анкетирования.

9 этап. Подсчет среднего балла согласованных оценок экспертов для каждого требования по (1). И, наконец, подсчет общего балла, он аналогичен этапу 6 метода 1.1. И тогда для оценки качества образовательного веб-сайта используется 20-балльная шкала для получения суммарного рейтинга. Делаются выводы о качестве образовательного веб-сайта, представленного для оценивания.

Недостатками данного метода являются: необходимость траты еще большего, чем в методе 1.1, количества времени; умение хорошо излагать свои мысли; субъективизм мнений; сложность формирования группы экспертов-специалистов; возможность принятия экспертами ошибочной оценки при согласовании.

*2. Метод «да/нет»* (предложен в [7] для оценивания качества систем справочников интернет-ресурсов). Оценивается только содержание интернет-ресурса как самого существенного для обеспечения его полноты и качества. Проводится по описанным ниже критериям. Чем больше будет получено ответов «да» на приведенные вопросы, тем вероятнее, что рассматриваемый источник обладает высоким информационным качеством [7].

Критерий 1 – авторитетность.

Ясно ли, кто несет ответственность за содержание сайта? Присутствует ли ссылка к странице, которая описывает цели организации-держателя сайта? Есть ли возможность проверки благонадежности держателя сайта? Указан ли номер телефона или почтовый адрес, по которым можно было бы обратиться за дополнительной информацией? Одно адреса электронной почты недостаточно. Ясно ли, кто является автором материала и четко ли указана квалификация автора, позволяющая ему высказываться по данному вопросу? Если материал защищен авторским правом, приведено ли имя обладателя авторского права?

Критерий 2 – точность.

Четко ли указаны источники всей фактографической информации с тем, чтобы их можно было проверить в другом источнике? Встречаются ли в тексте грамматические, орфографические ошибки и опечатки? Ясно ли, кто несет окончательную ответственность за точность содержания? Если приведены графики и/или диаграммы, содержащие статистические данные, снабжены ли они подписями и комментариями?

Критерий 3 – объективность.

Взята ли представленная информация из официального источника? Не является ли она частной точкой зрения? Свободна ли информация от рекламы? Если реклама присутствует, четко ли проведено разграничение между ней и информационным содержанием?

Критерий 4 – актуальность.

Присутствуют ли на Web-странице даты, указывающие:

- а) Когда была написана страница? б) Когда страница впервые была размещена в Web?
- в) Когда была сделана последняя редакция страницы? г) Существуют ли иные указания на то, что материал поддерживается в актуальном состоянии? д) Если материал представлен в виде графиков и/или диаграмм, указано ли явно, когда были собраны данные? е) Если информация опубликована в различных изданиях, есть ли указание на издание?

Критерий 5 – охват.

Есть ли сведения о том, завершена страница или находится в стадии формирования? Если имеется печатный аналог содержимого Web-страницы, указано ли в нем, что весь материал целиком или частично доступен в Web? Если материал не защищен авторским правом (как часто бывает в случае словарей или тезаурусов), были ли сделаны попытки обновления материала с целью актуализации содержания?

Недостатком данного метода является наличие только двух крайних противоположных состояний без учета промежуточных.

3. *Метод идеального решения* (предложен в [8] для оценивания качества интернет-ресурсов общего образования).

Качество сайта определяется с помощью обобщенного интегрального показателя – индекса качества, который вычисляется как степень близости результата деятельности ресурса к идеально возможному в  $N$ -мерном пространстве выделен-

ных частных показателей. Геометрически – это относительное расстояние до идеальной цели.

Оценивание интернет-сайта производится в следующем порядке:

- уточнение целей ресурса;
- определение перечня интегральных показателей качества и соответствующих им наборов частных показателей, характеризующих ресурс;
- уточнение экспертами важности интегральных и частных показателей качества, учитываемых с помощью соответствующих коэффициентов, для которых предусмотрена специальная процедура их согласования;
- определение экспертами значений частных показателей в шкале  $[0,1]$  (оценка значений частных показателей качества проводится по схеме: определение эталонных (максимальных) показателей качества; индивидуальная оценка близости показателей качества к эталонным; расчет групповой оценки значений частных показателей качества);
- вычисление индекса интегральных показателей качества оцениваемого ресурса аналогично индексу качества;
- расчет значения индекса качества ресурса  $E$

$$E = 1 - \frac{R_g}{R_{max}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\sum_i W_i^2} \sqrt{\sum_i (W_i * (1 - K_i))^2}},$$

$$W_i, K_i \in [0, 1],$$

где  $R_{max}$  – максимально возможная величина вектора результатов;

$R_g$  – расстояние от точки, соответствующее текущим результатам, до желаемой цели в многомерном пространстве критериев;

$W_i$  – коэффициенты важности выбранных интегральных показателей качества основных составляющих ресурса;

$K_i$  – значения выбранных интегральных показателей качества.

Если важность всех показателей равна 1, то выражение принимает более простой вид

$$E = 1 - \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_i (1 - K_i)^2}, \quad W_i, K_i \in [0, 1],$$

где  $N$  – размерность пространства показателей – общее число учитываемых показателей качества.

Недостатками этого метода являются: подгонка известной альтернативы к «идеальному решению»; субъективизм мнений в определении значений частных показателей; недостатки экспертного метода, описанные в методе 1.1.

4. Метод на основе нейросетевых технологий (предложен в [9] для оценивания качества сайтов любого назначения). Осуществляется на основе нейрокомпьютерного комплекса «CyberAnalytic» – «Кибераналитик».

Как известно, нейронные сети – самообучающиеся системы, имитирующие деятельность человеческого мозга, состоящие из большого числа связанных между собой однотипных элементов – нейронов.

В соответствии с принципом работы нейронной сети процесс оценивания качества веб-страницы происходит следующим образом [9]:

1) нейроны системы искусственного интеллекта (нейросети) Кибераналитика получают входные данные, представляющие собой набор показателей оцениваемого интернет-сайта;

2) входные данные преобразуются в соответствии с заданной функцией и ее параметрами;

3) формируются промежуточные качественные коэффициенты (веса) в соответствии с заданным алгоритмом;

4) формируется нейроространственная цифро-аналоговая матрица в соответствии с заданным алгоритмом;

5) нейросоставляющая Кибераналитика, управляемая клетками выращенного мозга, анализирует цифро-аналоговую матрицу;

6) определяются составляющие фактора  $D$  (эмоциональной оценки «мозга» к рассматриваемой интернет-странице);

7) полученная информация обрабатывается системой искусственного интеллекта и в результате формируется окончательная оценка качества сайта;

8) пользователь Кибераналитика опрашивается, правильно ли по его мнению произведена оценка качества сайта; если нейросеть приняла правильное решение, по мнению пользователя, то веса не модифицируются.

Правила обучения и структура нейронной сети Кибераналитика являются коммерческой тайной его разработчиков.

Результатом процесса оценивания является:

– оценка качества (в баллах) и диаграмма, иллюстрирующая процентные отношения четырех основных показателей (код, функциональность, дизайн, совместимость) и их абсолютные значения.

– значение фактора эмоциональной оценки (фактора  $D$ ); для удобства восприятия сайты условно разделены на различные группы в зависимости от величин составляющих фактора  $D$ : золотые, серебряные, бронзовые и прочие;

– текст с краткими пояснениями и комментариями к произведенной оценке.

Недостатками этого метода являются:

– невозможность прослеживания всей цепочки логического вывода, следовательно, невозможность объяснения причин принятия решений;

– возможность нахождения только субоптимального решения, что неприемлемо для задач, в которых требуется высокая точность;

– ограниченность возможности использования вследствие относительно высокой вычислительной стоимости процесса обучения как по времени, так и по объему занимаемой памяти.

Проведенный аналитический обзор методов оценивания качества интернет-сайтов показал, что со дня появления и внедрения сети интернет в жизнь вопрос качества сайта волнует все больше его разработчиков и пользователей. И здесь научные подходы нашли применение. Количество методов оценивания качества интернет-сайтов не ограничивается теми, которые описаны в статье, наверняка, новые методы находятся в разработке. Но цель каждого, кто занимается этим вопросом, – найти наиболее эффективный объективный метод.

#### Библиографический список

1. Пристальный взгляд на качество программ. Наталия Маркова. Журнал «Открытые системы» № 07-08/99 (Издательство «Открытые системы»)
2. Необходимость разработки системы менеджмента качества интернет-проектов. Иван Севостьянов. URL: <http://www.ivan.webprojects.ru/> 12.07.2006
3. Usability-методы. Николай Покровский. URL: <http://www.Usability.ru/> 19.04.2006
4. Азгальдов, Г.Г. О квалиметрии / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 173 с.
5. Коэффициент качества ресурса. URL: <http://idealsite.ru/> 25.12.2006
6. Оценка качества образовательных интернет-сайтов на основе метода Дельфы. Старова Т.С., Могилев А.В. URL: <http://www.center.fio.ru/> 19.04.2006
7. Проблема измерения качества в библиотеках: применение к оценке Web-сайтов. Волкова К.Ю. URL: [http://ellib.gpntb.ru/doc/11/d11\\_3.htm](http://ellib.gpntb.ru/doc/11/d11_3.htm) 19.04.2006
8. Разработка и апробация системы оценки качества интернет-ресурсов, предназначенных для общего образования URL: <http://som.fsio.ru/item.asp?id=10010883> 25.12.2006
9. Оценка качества создания сайта URL: <http://www.cys.ru/> 25.12.2006

**Шалаев В.С. НАПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.**

В статье приведены предшествующие настоящему времени, современные и перспективные направления лесных исследований по оценкам обследования ИЮФРО, которые следует учитывать при планировании отечественных НИР, особенно во все значительнее развивающемся процессе интеграции российской науки в мировое научное пространство. Дается краткая информация о научных направлениях Седьмой рамочной программы Европейского Союза FP7.

**Shalaev V.S. DIRECTIONS OF FOREST RESEARCHES: THE POSITIONS AND PERSPECTIVES.**

In this article there are research priorities of previous ten years, modern research priorities today, future research priorities based on analyze of IUFRO. These analyzing research priorities should be taken into account while planning science activities in our country. It's very important in conditions of permanent process of integration Russian science into global research area. There is a resume of the process of research priorities in the Seventh Framework Programme EU in this article.

**Обыденников В.И., Войтюк М.М. СОХРАНЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ РЕСУРСОВ ЯГОДНИКОВ В СВЯЗИ С РУБКАМИ ГЛАВНОГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.**

Показано влияние рубок главного пользования и рубок ухода на чернику и бруснику в сосняках и ельниках зоны смешанных лесов Русской равнины. Рассмотрены процессы возобновления и формирования покрова ягодников после рубок леса.

**OBYDENNIKOV V.I., VOJTJUK M.M. PRESERVATION, RESTORATION AND PRODUCTIVITY ENHANCEMENT OF BERRY-FIELDS IN CONNECTION WITH FELLING AND PRE-COMMERCIAL THINNING.**

The influence of felling and pre-commercial thinning on blueberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) and cowberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in pine and spruce types of forests of mixed broadleaved forest zone of Russian Plain was discussed. The processes of restoration and forming of berry-field layers after felling are examined.

**Обыденников В.И., Кузнецов М.Е., Разживин В.А. ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЛЕСА В СВЯЗИ С РУБКАМИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.**

Раскрыты особенности формирования типов леса после разных способов рубок главного пользования. Приведена схема-модель динамики типов леса в связи с рубками.

**Obydennikov V.I., Kuznetsov M.E., Razzhivin V.A. TIPOLOGICAL ASPECTS OF FOREST DYNAMICS RESEARCH IN CONNECTION WITH FINAL FELLING OPERATION.**

Peculiarities of forest types formation after different ways of final felling are revealed. Model-structure of forest types dynamics in connection with felling is given.

**Вайс А.А. МНОГОУГОЛЬНАЯ ВЫБОРКА В СМЕШАННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ.**

В статье приводятся результаты апробации нового метода таксации леса – многоугольная выборка (МУВ). Впервые данный метод предложил А.Г. Хватов в 1988 г. Апробация многоугольной выборки производилась в смешанных сосновых древостоях Караульного лесничества учебно-опытного лесхоза СибГТУ. Установлено, что оптимальным количеством для МУВ являются: пять площадок, где центральное дерево-преобладающая древесная порода; четыре площадки для второстепенных пород. Сравнительный анализ со сплошным учетом показал, что ошибки определения суммы площадей поперечных сечений не выходят за пределы 10 %. При таксации методом смешанных насаждений методом МУВ необходимо учитывать размер МУВ и выбор древесной породы для центрального дерева.

#### **Vajs A.A. POLYGONAL SAMPLE IN THE MIXED PLANTINGS.**

In clause results of approbation of a new method of valuation of a wood – polygonal sample (MUV) are resulted. For the first time the given method has offered A.G.Hvatov in 1988. Approbation of polygonal sample was made in the mixed pine forest stands of the Guard forest area of skilled timber enterprise SibGtU. It is established, that optimum quantity for MUV are: five platforms, where the central tree prevailing wood breed; four platforms for minor breeds. The comparative analysis with the continuous account has shown, that mistakes of definition of the sum of the areas of cross sections do not fall outside the limits 10 %. At valuation by a method of the mixed plantings by method MUV it is necessary to take into account size MUV and a choice of wood breed for the central tree.

#### **Вайс А.А. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ РОСТА И ОТПАДА ДЕРЕВЬЕВ В ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ.**

Объектом исследования являлись смешанные пихтовые насаждения. Координатные пробные площади были заложены в пихтачах средневозрастной стадии развития после распада осинового древостоя в 1991 г. Повторные измерения выполнены в 2005 г. За прошедший период доля пихты на пробных площадях снизилась, а запас осины возрос. Процесс отпада наблюдается у растений второго поколения – более 50 % по числу стволов на первой площади и около 20 % на второй площади. Размерных различий между деревьями растущими и отпадом не выявлены. При этом растущие особи испытывают меньшую конкуренцию со стороны «соседей», чем растения отпада, особенно осины. Различия в социальном положении категорий деревьев пихты позволяет рекомендовать следующие оптимальные условия: среднее расстояние до ближайших «соседей» –  $2,1 \pm 0,1$  м и конкурентное давление –  $4,4 \pm 0,2$ . Установлено, чем выше конкурентное давление, тем больше значение текущего прироста. Это позволяет деревьям второго поколения успешно произрастать и вращать в полог основного яруса.

#### **Weiss A.A. DYNAMICS OF PROCESSES OF GROWTH AND DESTRUCTION OF TREES IN FIR PLANTINGS THE SOUTHERN PART OF THE AVERAGE TAIGA.**

Object of research were the mixed fir plantings. The coordinate trial areas have been incorporated in fir plantings an average stage of development after disintegration of an aspen forest stand in 1991. Repeated measurements are executed in 2005. For the last period the share of a fir on the trial areas has decreased, and the stock of an aspen has increased. Process of destruction is observed at plants of the second generation – more than 50 % on number of trunks on the first area and about 20 % on the second area. Dimensional distinctions between trees growing and dried out are not revealed. Thus growing individuals test a smaller competition from «neighbours», than plants dried out, especially aspens. Distinctions in a social status of categories of trees of a fir allows to recommend following optimum conditions: average distance up to nearest «neighbours» –  $2,1 \pm 0,1$  m and competitive pressure –  $4,4 \pm 0,2$ . Competitive pressure is established, that the above, the it is more value of a current gain. It allows trees of the second generation to grow and grow into the basic circle successfully.

#### **Харченко Н.А., Харченко Н.Н. К ВОПРОСУ О ДЕГРАДАЦИИ ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ.**

В статье рассматриваются вопросы деградации порослевых дубрав, перечислены различные причины.

#### **Harchenko N.A., Harchenko N.N. TO QUESTION ABOUT DEGRADE SPROUTS OAK WOOD CENTRAL CHERNOZEM.**

In article are considered questions degrade sprouts oak wood , is enumerated various reasons.

#### **Угрюмов Б.И., Даниленко О.К. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАТОПЛЕНИЯ ЛОЖА БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.**

Водный режим подавляющего числа типов наземных экосистем автономен и не будет зависеть от водохранилища и величины его сезонной сработки, поскольку обусловлен атмосферными осадками. В

данной публикации рассмотрены вопросы влияния затопления лож водохранилищ на прибрежную растительность при изменении лесорастительных и гидрологических условий. Описаны изменения в продуктивности лесов при их затоплении и подтоплении. Сделан прогноз изменений в составе древостоя при затоплении Богучанского водохранилища, приведены примерные виды древесной растительности, которые будут произрастать по берегам водохранилища. Дана количественная и качественная оценка древостоев произрастающих по берегам будущего водохранилища. Рассмотрены условия, при которых не будут наблюдаться изменения в радиальном и терминальном приросте. Разработаны мероприятия по своевременному омоложению высоковозрастных древостоев или замене их на более влаголюбивые породы.

**Ugrumov B.I., Danilenko O.K. PROGNOSIS OF FOREST VEGETATION UNDER FLUCTUATION FLOODING COUCH OF BOGUCHANSKY RESERVOIR.**

Water regime more numbers of type grands ecosystems is autonomous and independent from reservoir and size of it seasonal fluctuation of level, as it be conditioned by presipitation. In this article consider a questions about influence floods couch of reservoirs on riverside vegetations under fluctuation forestry and gydrology condition. Make an inventory fluctuations in productivity of forest under their flooding and sinking. Make the prognosis fluctuation in structure of forest under flood of Boguchansky reservoir, adduce approximate type of forestly vegetation, which be grow along riverside. Present quantitative and qualitive appraisal forest vegetations growing along riverside futures reservoirs. Consider the conditions, by which not be observe the the fluctuation of radial and thermal increase. Work out the measure for timely rejuvenation old substitution upon more moisturefavourite vegetations.

**Карасева М.А., Лежнин К.Т., Маторкин А.А. ВЛИЯНИЕ ФИТОМЕЛИОРАНТОВ НА РОСТ И УСТОЙЧИВОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ.**

Приведены результаты исследований влияния люпина многолетнего, ракичника русского и дрока красильного на интенсивность физиологических процессов, рост и устойчивость *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*. Выявлено положительное влияние фитомелиорантов на содержание гумуса, общего азота и интенсивность основных физиологических процессов.

**Karaseva M.A., Lezhnin K.T., Matorkin A.A. INFLUENCE LAND-RECLAMATION PLANTS ON GROWTH AND STABILITY OF *PINUS SILVESTRIS* L. AND *LARIX SIBIRICA* LEDEB. IN THE MIDDLE VOLGA REGION.**

Results of research of influence *Lupinus L.*, *Cytisus ruthenicus* and *Genista tinctoria* on intensity of physiological processes, growth and efficiency phytomass tree species are presented. Positive influence land-reclamation plants on growth and development of coniferous tree species is revealed.

**Балухта Л.П. КОМПЛЕКСНЫЙ УХОД И ПОДЛЕСОЧНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В СОСНЯКАХ СВЕЖИХ.**

Изучена связь и влияние минеральных удобрений в системе комплексного ухода, внесенных 40–45 лет назад в условиях свежих боров и суборей Брянского лесного массива, на густоту и видовое разнообразие подлеска.

**Baluchta L.P. THE COMPLEX CARE AND UNDERBRUSH VEGETATION IN FRESH PINE FORESTS.**

The communication and influence of mineral fertilizers in system of the complex care, brought 40–45 years ago in conditions fresh a hog and subor the Bryansk forest range, on depth and the specific species is studied.

**Рысин Л.П., Рысин С.Л. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УРБОЛЕСОВЕДЕНИЯ В РОССИИ.**

Леса на урбанизированных территориях выполняют множество полезных функций, а потому нуждаются в особой охране и режимах ведения хозяйства. Эти задачи рассматривает урболесоведение – область науки о лесе, охватывающая все стороны жизни насаждений в условиях города и его окрестностей.

**Rysin L.P., Rysin S.L. PROSPECT OF URBAN FORESTRY DEVELOPMENT IN RUSSIA.**

The crucial importance of urban forests and their multiple functionalities on urban areas are obvious. That is why urban forests have to be managed correspondingly to these and other particularities. Different specific aspects about life of green areas under urban and suburban conditions are described by the branch of forestry namely urban forestry.

**Левицкая И.В., Самошкин Е.Н. ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПЫЛЬЦЫ И СЕМЯН РАЗНЫХ ВИДОВ РОДА SPIREAE В ЮГО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ.**

На жизнеспособность пыльцы спиреи иволистной влияет не только радиоактивный фон, но выхлопные газы автомашин. Пыльцевые зерна спиреи японской прорастали весьма активно. Семена спиреи Мензиса, березолистной, Бумальда, японской для лучшей всхожести нужно 2 месяца хранить либо в холодильнике, либо под снегом; спиреи Блюме – 2 месяца под снегом; спиреи Билларди, волохитоплодной можно высевать сразу после сбора либо после 2 месяцев хранения под снегом.

**Lewizkaya I.W., Samoshkin E.N. THE VIABILITY OF POLLEN AND SEEDS OF DIFFERENT KINDS OF SPIREAE IN SOUTHWEST REGION RUSSIAN FEDERATION.**

On the viability of pollen *Spiraea salicifolia* is not influence only the radioactive background, but also exhaust gases of motor transport, the pollen grains of *Spiraea japonica* germinated rather actively. The seeds of *Spiraea Mezesii*, *betulifolia*, *Bumalda*, *japonica* it is necessary for the best germinating power to keep either 2 months in a refrigerator, or under snow. The seeds of *Spiraea Blumei* – is germinate in the best way after snowed during 2 months. The seeds of *Spiraea Billiardii*, *lasiocarpa* it is expedient to sow after gathering, or after 2 months of storage under snow.

**Плакса С.А. ЗАЯЦ-РУСАК В ДАГЕСТАНЕ.**

В статье автор излагает итоги собственных исследований по биологии и экологии зайца-русака в Дагестане, произведенные в 1981–2005 гг. Выявлены и описаны особенности питания русака и определены основные показатели, характеризующие размножение и смертность его по природным зонам Дагестана. Определена половозрастная структура популяции вида. Произведена оценка качества и определены плотности обитания зайца-русака по природным зонам и стациям обитания в Дагестане. Определены площади индивидуальных участков и ареала зайца-русака. На основании экспертной оценки численности русака, произведенной по разработанной автором методике, дан анализ динамики численности и добычи зайца-русака в Дагестане в 1936–2005 гг. В ходе исследований с использованием анкетирования и метода корреляционного анализа проанализировано влияние различных лимитирующих факторов на популяции и численность русака, в том числе и его хозяйственного использования. В результате проведенной работы наиболее полно охарактеризованы все свойства и параметры современной популяции зайца-русака в Дагестане как в целом, так и по природным зонам, а также даны рекомендации по использованию вида.

**Plaksa S.A. HARE-EUROPEAN HARE IN DAGESTANE.**

In article, the author states the totals of the own studies on biologies and ecologies european hare in Dagestane made by him for 1981–2005. On the grounds of own studies are revealed and described particularities of the feeding the european hare and is determined to leading indexes, characterizing duplication and death-rate him on natural zone Dagestana. It is determined structure to populations of the type. The maded estimation quality and is determined density inhabited european hare on under-native zone and his place of the finding in Dagestane. The certain area individual area and area european hare. On the grounds of expert estimation of the number of the european hare, made on is designed by author to methods, is given analysis speakers to number and mining european hare in Dagestane for 1936–2005. In the course of studies, with use biographical data and method analysis, is analysed influence different limiting factor on populations and the number of the european hare, including his economic use. As a result called on work by author most packed are characterized all characteristic and parameters to modern population european hare in Dagestane, as as a whole, so and on natural zone, but are in the same way given recommendations on use the type.

**Скрыпникова Е.Б. МЕТОДЫ ДОБЫВАНИЯ КОРМА ПТИЦАМИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.**

В работе рассмотрены методы добывания корма птицами в условиях урбанизированных территорий.

**Skrypnikova E.B. THE WAYS OF GETTING FOOD BY BIRDS IN URBAN TERRITORIES.**

The ways of getting food by birds in urban territories have been investigated.

**Мигунова Е.С. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОРОЗОВСКОЙ ШКОЛЫ ЛЕСНОЙ ТИПОЛОГИИ.**

Рассматриваются вопросы становления лесной типологии, или учения о связи лесов со средой обитания и разделения их на типы по факторам этой среды.

**Migunova E.S. STAGES OF THE DEVELOPMENT OF THE TIMBER TYPOLOGY SCHOOL MOROZOV.**

They are considered questions of the formation to timber typology or teachings about relationship wood with ambience inhabit and their division on types on factor of this ambience.

**Меньшикова М.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АУДИТА РАСЧЕТОВ ПО ОПЛАТЕ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

В статье рассмотрены вопросы аудиторской практики расчета оплаты. Установлены типичные ошибки в бухгалтерских и аудиторских процедурах.

**Menshikov M.A. ESTIMATION OF EFFICIENCY OF AUDIT OF CALCULATIONS ON A PAYMENT OF WORKERS OF THE TIMBER INDUSTRY ENTERPRISES.**

In clause pressing questions of auditor practice of a payment are stated. Typical mistakes in book keeping and auditor procedures for their revealing are stated.

**Хашир Б.О. ИНВЕСТИЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДРЕВЕСНЫХ ПРОДУКТОВ ЛЕСА.**

На основе рационального и эффективного использования ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений рассмотрены вопросы определения урожайности и запасов, прогнозирования урожайности, а также территориального размещения инвестиций по организации сбора и переработки пищевых продуктов леса.

**Hashir B.O. INVESTMENT ASPECTS OF REGIONAL USE OF NOT WOOD PRODUCTS OF A FOREST.**

Questions are considered, on the basis of rational and effective use of resources wild-growing food and herbs with definition of productivity and stocks, forecasting of productivity, and also territorial accommodation of investments on the organization of gathering and processing of foodstuff of a wood.

**Кислухина И.А. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ.**

В статье выделены и описаны основные этапы истории развития лесопромышленного комплекса Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, определены причины глубокого и затяжного экономического кризиса, возникшего в лесной отрасли в начале 1990-х годов и не преодоленного до настоящего времени.

**Kisluhina, I.A. THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF THE TIMBER INDUSTRY COMPLEX OF KHANTY – MANSY AUTONOMOUS DISTRICT.**

There are main stages of the history of development of the timber industry complex of Khanty – Mansy autonomous district in the article. And the causes of the economic protracted crisis are determined. There has been a crisis at the beginning of 1990-s and not specified till nowadays.

**Киселева О.А., Ярцев В.П. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ.**

В статье приводятся методика и результаты исследований энергетических затрат в процессах лесосечных работ с использованием универсального количественного показателя энергоэффективности процесса – технологического топливного числа.

**Kiseleva O.A., Yartsev V.P. TO THE QUESTION OF POWER EFFICIENCY ESTIMATION OF FOREST HARVESTING PROCESSES WITH HARVESTER APPLYING.**

The technique and results of researches of power costs in forest harvesting with use of a universal quantity indicator of power efficient process – technological fuel number are presented in article.

**Абразумов В.В., Морозов, А.В. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ.**

Рассмотрены вопросы влияния режимов резания на температуру передней и задней поверхностей инструмента при цилиндрическом фрезеровании цементно-стружечных плит. Построены графические зависимости распределения температур на контактных поверхностях резца.

**Abrazumov V.V., Morozov A.V. THE INFLUENCE OF CUTTING MODES ON THE TEMPERATURE OF CONTACT SURFACES DURING COMPOSITE WOOD MATERIALS.**

The article deals with some problems of cutting modes influence on the temperature of front and back surfaces of an instrument at cylindrical milling of wood materials (panels). Some graphic dependence distribution of the temperature on contact surfaces of a cutter are given.

**Попов В.М., Иванов А.В. ИНТЕНСИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ.**

Предложен технологический прием создания клееных изделий из древесины повышенной прочности. Путем обработки в постоянном или пульсирующем магнитном поле склеек из древесины в процессе отверждения клея повышается прочность клеевых соединений на 25–26 %.

**Popov V.M., Ivanov A.V. THE INTENSIVE TECHNOLOGY OF PRODUCING GLUED WOOD WITH HIGH DURABILITY.**

Technological method of production of glued wood with high durability is offered. After processing the wood patches in constant or pulsing magnetic field in the process of glue hardening the durability of glued joints is raised on 25–26 %.

**Костюкевич Н.Н. К ВОПРОСУ УГЛУБЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ЦЕХАХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

В материале обозначены проблемы более рационального комплексного использования древесного сырья. Предложены варианты переработки низкокачественной древесины, способы увеличения доли выхода готовой продукции и повышения эффективности лесозаготовительного предприятия. Приведены графические схемы формирования качественного пиломатериала.

**Kostyukevich N.N. TO QUESTION OF THE DEEPENED CONVERSION WOOD CHEESE IN SHOP TIMBER ENTERPRISE.**

The problems of more rational and complex wood raw materials utilization are studied in the article. Methods of low-qualitative wood processing, finished products yield increase and ways of forest harvesting operations effectiveness increase are proposed. Graphical schemes of qualitative sawn timber formation are given.

**Нахаев З.Н., Сушков А.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГРУЗОПОТОКОВ ЛЕСОПРОДУКЦИИ ПРИ РУБКАХ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.**

В статье рассмотрены организационные принципы управления транспортно-технологическими связями лесных предприятий на основе логистики.

**Nahaev Z.N., Sushkov A.S. PERFECTION OF FREIGHT TRAFFICS FOREST AT CABINS OF INTERMEDIATE USING.**

In article organizational principles of management transport – are considered by technological connections of the wood enterprises on the basis of logistic.

**Рукомойников К.П. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСВОЕНИЯ КВАРТАЛА.**

Предметом исследования статьи является рассмотрение методики нахождения наилучшего размещения погрузочных пунктов и обоснования среднего расстояния трелевки лесоматериалов в пределах разрабатываемого выдела. Этот метод обеспечивает минимум суммарных трудовых и денежных затрат на трелевку лесоматериалов и сооружение погрузочных пунктов. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации лесозаготовительного процесса при прямоугольной форме разрабатываемых лесосек.

**Rukomojnikov K.P. SUBSTANTIATION OF A TECHNIQUE OF ACCOUNT THE BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS WITHIN THE PLANNING QUARTER BORDERS.**

The subject-matter of the article is consideration of technique to find the way for efficient arranging of roadsides and substantiations of average distance skidding of forest products within the logging site borders. These methods provide the minimum of total labor and money expenses for skidding woods and constructing roadsides. The results can be used to make the logging process within unrectangular logging sites more effective.

**Иванов Г.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЧКИ (ВОЗА) ХЛЫСТОВ ДЕРЕВЬЕВ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЗА ВЕРШИНЫ В ПОЛУПОДВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ РАСЧЕТНЫМ ХЛЫСТОМ.**

Рассматривается применение теории, разработанной для отдельного хлыста, к пачке хлыстов.

**Ivanov G.A. MODELING OF THE PACK (CARRY) WHIP TREE MOVEABLE FOR TOPS IN HANG UP THE CONDITION BY ACCOUNTING WHIP.**

It is considered using to theories designed for separate whip to pack whip.

**Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ.**

В данной работе применялась прогрессивная методика построения математической теории планированного многофакторного эксперимента.

**Kuriyanov V.K., Burmistrova O.N. THE EXPERIMENTAL STUDY BRAKE SPEAKERS TIMBER TRUCK CONVOY.**

In given work was used progressive methods of the building to mathematical theory planned much factorial experiments.

**Тарасов Е.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ ЛЕСНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА.**

Было установлено, что потребная мощность насоса сократится примерно на 7,36 кВт и в пересчете на экономию топлива агрегата ориентировочно составит 16,13 %. Эта величина по рекуперативным системам распределяется следующим образом: ходовая часть трактора – 70 %, навесной механизм трактора – 19 %, предохранительный механизм почвообрабатывающего орудия – 11 %.

**Tarasov E.A. COMPARATIVE ESTIMATION TO EFFICIENCY RECUPERATION SYSTEMS  
TIMBER PROCESSING GROUND UNIT.**

It Was installed that required a power of the pump grows shorter on 7,36 кВт approximately and in fart-count on spare fuel of the unit will approximately form 16,13 %. This value on recuperation system is distributed as follows: sought-after part of tractor – 70 %, outboard mechanism of the tractor – 19 %, preventative mechanism Processing ground instruments – 11 %.

**Мошкин Н.И. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ЦЕЛЮ ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.**

Разработан метод и средство дифференциального диагностирования электронных систем зажигания на основе теории распознавания образов. Метод заключается в анализе диагностических участков на характеристиках первичного и вторичного напряжений системы зажигания в автоматическом режиме. Основное отличие разработанного диагностического комплекса заключается в том, что программа, инсталлированная в любой персональный компьютер с небольшим количеством преобразующих элементов, позволяет не просто визуально наблюдать за процессами в диагностируемых объектах, но и анализировать и устанавливать диагноз. При этом диагноз устанавливается без участия оператора, что позволяет избежать ошибок, связанных с его квалификацией и опытом, а стоимость такого оборудования значительно ниже стационарных мотор-тестеров.

**Moshkin N.I. AUTOMATIZATION OF MEASUREMENT PROCESSES AND REGISTRY SYSTEMS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH THE AIM OF THEIR DIAGNOSING.**

Method and means of differential diagnosing electronic kindling systems on the basis of image discrimination have been elaborated. The aim of the method is to analyze the diagnostic areas, characteristics of primary and secondary voltages of kindling systems under automatic control (regime). The main distinction of the developed diagnostic complex is that the program installed in any personal computers (PC) with a small number of transforming elements enables both to observe the processes in objects being diagnosed and to analyze and ascertain diagnosis, this being done without any operator's interference which results in avoiding possible errors due to his lack of experience and skills. The cost of such equipment is considerably lower than of stationary motor-tester.

**Климусhev Н.К. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.**

Рассмотрены методы имитационного моделирования неравномерности лесозаготовительного производства.

**Klimushev N.K. SIMULATION MODELING to UNEVENNESS TIMBER PRODUCTION.**

The methods of simulation of logging non-uniformity are reviewed.

**Азаров В.И., Кононов Г.Н., Дроздова В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ С ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ.**

В статье представлены результаты испытания образцов бумаги, обработанной карбамидоформальдегидными олигомерами, модифицированными натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы, меламином: определение влагонепроницаемости и разрывной длины.

**Azarov V.I., Kononov G.N., Drozdova V.S. RESEARCH OF PAPER PROPERTIES WITH SUPERFICIAL TREATMENT.**

The results of tests of paper samples treated with urea-formaldehyde oligomers modified by Na-saline of carboxymethylcellulose and melamine are presented in this article: estimating of wet strength and breaking length of paper.

**Тарасов С.М. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КАТИОННЫХ КРАХМАЛОВ НА СВОЙСТВА БУМАЖНО-КАРТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ.**

Катионные крахмалы хорошо зарекомендовали себя как материалы для повышения эксплуатационных характеристик бумаги и картона. На рынке России в настоящее время преобладают зарубежные марки катионных крахмалов. Исследование возможности их использования в производстве бумажно-картонных материалов из вторичного волокнистого сырья является актуальной задачей. В статье приводятся результаты таких исследований.

**Tarasov S.M. INFLUENCE OF VARIOUS KINDS OF CATIONIC STARCH ON PROPERTIES OF A PAPER AND CARDBOARD FROM SECONDARY FIBROUS RAW MATERIAL.**

The cationic starch has recommended well itself as a material for increase of production characteristics of a paper and cardboard. In the market of Russia, the foreign grades of cationic starch now prevail. The research of an opportunity of their use in production of paper and cardboard materials from secondary fibrous raw material is an urgent task. In clause, the results of such researches are resulted.

**Рябков В.М., Смирнов Д.С. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ВЕСОВОГО ПОРЦИОННОГО ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ.**

Одной из важнейших задач порционного дозирования является снижение систематической и случайной составляющей погрешности дозирования и взвешивания.

**Ryabkov V.M., Smyrnov D.S. THE ANALYSIS OF THE LAPSE OF THE MASS PORTION METERING-IN OF COMPONENTS AT PREPARATION A BINDER IN PRODUCTION OF WALLBOARDS.**

The analysis and minimization of function of a lapse is reduced at a multicomponent portion mass metering-in in production of wallboards.

**Запруднов В.И. О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.**

Дана формулировка и постановка задачи прогнозирования напряженно-деформированного состояния древесно-цементных материалов.

**Zaprudnov V.I. ABOUT FORECASTING OF TOUGHNESS AND DEFORMATION WOOD-CEMENT MATERIAL.**

It is given wording and statement of the problem about forecasting tense-deformed conditions wood-cement material.

**Медведев И.Н. МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ И ФАУТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ПОРОД СОЕДИНЕНИЯМИ ФОРМАЛЬДЕГИДА И КАРБАМИДА.**

В настоящее время актуальна проблема запасов деловой древесины твердолиственных пород, поэтому новые технологии модифицирования древесины мягколиственных пород в данный момент особенно востребованы. Одним из недостатков уплотненной древесины является ее разбухание, оно в 5–10 раз больше, чем у натуральной, поэтому вопросы защиты ее от формоизменения являются важными.

**Medvedev I.N. FORMALDEHYDE AND CARBAMIDE MODIFYING OF HEALTHY AND ROTTEN SOFT BREEDS WOOD.**

Exhaustions of stocks of business wood are caused with necessity of new technologies of modifying of wood of soft breeds. Swelling of the condensed wood, at 5–10 times more, than at healthy, defines importance of her protection against deformation.

**Домрачев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г., Антошина И.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ШКАЛ ДЛЯ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ.**

В статье разработана методика составления системы характеристик качества образовательных информационных ресурсов и метод построения лингвистических шкал для их оценивания. Лингвистические шкалы строятся с оптимальным множеством элементов, что позволяет при экспертном оценивании качественных характеристик получать максимально согласованную информацию в условиях ее минимальной нечеткости.

**Domrachev V.G., Poleschuk O.M., Komarov E.G., Antoshina I.V. THE SYSTEM DEVELOPMENT OF THE FEATURES QUALITY EDUCATIONAL INFORMATION RESOURCE AND SCALES FOR THEIR ESTIMATIONS.**

In article is designed methods of the scheduling the system of the features quality educational information resource and method of the building of the linguistical scales for their estimations. The Linguistical scales are built with optimum ensemble element that allows under expert estimation of the qualitative features to get greatly coordinated information in condition its minimum not clearness.

**Бунаков П.Ю., Стариков А.В., Харин В.Н., РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ В КОМПЛЕКСНОЙ САПР КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ.**

Актуальной задачей мебельного производства в условиях нарастающей конкуренции является повышение качества выпускаемых изделий, обеспечение которого непосредственно связано с уровнем технологичности продукции. Решение данной задачи требует разработки методов расчета и оценки соответствующих качественных и количественных показателей.

**Bunakov P.J., Starikov A.V., Kharin V.N. ACCOUNT of INTEGRATED FACTOR of ADAPTABILITY to MANUFACTURE And ESTIMATION of QUALITY of PROJECTED PRODUCTS In COMPLEX CAD-SYSTEM of CASE FURNITURE.**

Urgent task of furniture manufacture in conditions of an increasing competition is the increase of quality of let out products, which maintenance is directly connected to a level of adaptability to manufacture of production. The decision of the given task requires development of methods of account and estimation of the appropriate qualitative and quantitative parameters.

**Шако О.И. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СОРТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИЦИРОВАНИЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ.**

В статье получены выражения для определения эффективности алгоритмов сортирования и классифицирования пиловочного сырья по размерам бревен. Для практики лесопиления рекомендован комбинированный алгоритм сортирования и классифицирования бревен по комлевым и вершинным диаметрам.

**Shako O.I. THE ANALYSIS OF TIMBER WOOD SORTING AND CLASSIFYING ALGORITHMS.**

Expressions for determining efficiency of sorting and classifying algorithms measuring bolt timber dimensions are resulted in the article. Combined sorting and classifying algorithm, which based on butt and top end of sawlog dimension measurement can be recommended for sawmill practice

**Зеликов В.А. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.**

Проведен анализ состояния дорожного движения. Представлены проблемы, связанные с организацией движения в крупных городах. Рассмотрены особенности транспортных потоков. Дан обзор основных идей теории транспортных потоков в области математического моделирования.

**Zelikov V.A. THE ANALYSIS OF THEORETICAL APPROACHES OF MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC OF TRANSPORT STREAM.**

It was made the analysis of condition of road traffic. It is given problems combined with organization of traffic in the cities. It is examined peculiarities of traffic steams. It is given the review of the main ideas of the theory of traffic steams in sphere of mathematical modeling.

**Корольков А.В. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УПРАВЛЯЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ.**

Анализируются возможные режимы движения жидкости в сложной гидродинамической системе в зависимости от гравитационных условий на борту космического аппарата.

**Korolkov A.V. THE PARAMETER ANALISYS OF COMPLECETED HYDRODYNAMIC SYSTEM UNDER THE INFLUANCE OF EXTERNAL FACTORS.**

Possible regimes of motion in a compleceted hydrodynamic systev under the influence of of gravitational conditions in a spacecraft are analised.

**Степанов И.М. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ЧЕТКИХ И НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ.**

В работе предложена математическая модель оценки надежности комплекса технических и программных средств систем реального времени на стадии их проектирования при четко заданных параметрах (четкие условия). Показано, что на надежность систем в большой степени влияет система контроля, выявляющая ошибки.

**Stepanov I.M. EVALUATION OF A RELIABILITY OF HARDWARE AND SOFTWARE OF A REAL TIME SYSTEM ON VARIOUS STAGES OF LIFE CYCLE FOR EXACT AND INEXACT (FUZZY) CONDITIONS.**

In this paper the mathematical model of an evaluation of a reliability of hardware and software of a real time system at the stage of their development for exact parameters is offered. Is shown, the testing system influences a reliability of systems in the greater degree. Is shown, the monitoring system, detecting errors, influences a reliability of systems in the greater degree.

**Степанов И.М. ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСА: КОНЦЕНЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ.**

В работе рассматриваются вопросы построения глобальной сети космического мониторинга леса. Ставится задача общедоступности глобальной сети космического мониторинга леса. Рассматривается структура сети.

**Stepanov I.M. GLOBAL NETWORK OF SPASE FOREST MONITORING: CONCEPT OF CONSTRUCTION.**

In the article the problems of construction of a global network of space forest monitoring are considered. The problem of general accessibility of a network is put. The network architecture is considered.

**Воробьева Г.И., Седова Т.Л. ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЙТИНГОВ ПОРТАЛОВ.**

Предлагается новая технология ранжирования образовательных порталов, в основе которой лежит метод эталонов. Предлагаемый подход отличается от существующих тем, что не требует добавочной информации, отсутствующей в исходной задаче ранжирования, и свободен от влияния «человеческого фактора». Приводятся примеры, иллюстрирующие применение предложенного подхода.

**Vorobiova G.I., Sedova T.L. TECHNOLOGIES FOR INFORMATION PORTALS RANKING.**

Proposed is a new technology for educational portals ranking, based on the method of comparison standards. Distinguishing features of this method are: it does not need any additional information, being absent in the original problem statement; it does not depend on «human factor». The article includes examples, illustrating usage of proposed technology.

**Фомичев Н.В. ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СВОЙСТВАМИ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛУГРУППОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ.**

Доказано включение линейной подполугруппы полугруппы преобразований векторного пространства в пересечение пяти наследственных признаков, улучшающее известную оценку для групп. Дано приложение для генераторов самоусечения.

**Fomichev N.V. ATTRIBUTES DEFINED BY PROPERTIES OF SEMIGROUP LINEAR TRANSFORMATIONS.**

It has been proved that linear subsemigroup of finite vector space transformations belongs to intersection of five heritable attributes. It improves known estimate in the case of finite groups. Useful application to generators of selfdecimation is given.

**Фомичев Н.В. ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СВОЙСТВАМИ ТРЕУГОЛЬНО-СТУПЕНЧАТЫХ ПОДСТАНОВОК ВЕКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА.**

Исследован наследственный признак согласованности подстановок циклической группы  $\langle g \rangle$  с заданным разбиением  $\pi$  основного множества  $X$ . Это свойство обобщает свойство треугольно-ступенчатости подстановочных преобразований конечного векторного пространства.

**Fomichev N.V. ATTRIBUTES DEFINED BY PROPERTIES OF ECHELON-TRIANGULAR SUBSTITUTIONS OF VECTOR SPACE.**

This paper is devoted to the study of heritable attributes of coherence of cyclic group  $\langle g \rangle$  with underlying set  $X$  partition  $\pi$ . Such property generalizes echelon-triangular substitutions of finite vector space.

**Домрачев В.Г., Исаев В.М. О НАДЕЖНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АППАРАТУРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.**

Дано описание требований и подходов к оценке надежности источников вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры специального назначения.

**Domrachev V.G., Isaev V.M. ABOUT RELIABILITY OF SOURCES OF THE SECOND POWER SUPPLY OF APPARATUS SPECIAL SETTING.**

Description of requirements and approaches is given to the estimation of reliability of sources of the second power supply of radio electronic apparatus of the special setting

**Лесин Н.И. ДОСТОВЕРНОСТЬ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ.**

Проведен анализ показателей достоверности оценки технического состояния электронных систем, учитывающий их полноту контроля. Показано, что увеличение полноты контроля приводит к увеличению условной вероятности ложного отказа и уменьшению условной вероятности необнаруженного отказа. Последняя имеет экстремум, который с увеличением количества контролируемых параметров в электронной системе смещается в сторону уменьшения относительных погрешностей измерений.

**Lesin N.I. RELIABILITY EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRONIC SYSTEMS.**

An analysis of the reliability evaluation of the technical condition of electronic systems, including their complete control. It has been shown that an increase in full control increases the conditional probability of

a false denial, and reducing the conditional probability of undetected of refusal. The latter is apparently that of the increasing number of parameters being monitored in the electronic system is moving towards of reducing the relative measurement errors.

**Ретинский В.С. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.**

Представлен подход, основанный на процедуре полиномиального представления неизвестных граничных условий для воспроизведения режимов работы систем с распределенными параметрами. Даны алгоритмы, разработанные для такого метода, на примере сетей, описываемых дифференциальными уравнениями параболического типа и линейными уравнениями сопряжения.

**Retinskiy V.S. PLAYING BACK OF NONSTATIONARY CONDITIONS OPERATION PARAMETERS OF NETWORKS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS.**

The approach based on the procedure of unknown boundary conditions polynomial representation is represented. The method is used for playing back of operations mode of distributed parameter systems. The algorithms, designed for such method are represented. The algorithms are designed for networks circumscribed by the differential equations of a parabolic type and simple equations.

**Боцула А.А. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ОБРАБОТКЕ ТРАССЫ MPI-ПРОГРАММ.**

Описывается метод построения структуры событий MPI-программы, основанный на применении математических методов кластеризации событий трассы MPI-программы. Производится сравнение основных агломеративных алгоритмов иерархической кластеризации на примере построения структуры событий MPI-программы, предназначенной для решения задачи Дирихле.

**Botsula A.A. MATHEMATICAL METHODS OF CLUSTERING IN MPI PROGRAMS TRACE HANDLING.**

The article describes the new approach to MPI programs structure building. The method is based on the applying algorithms of clustering to MPI events. Two agglomerative algorithms of clustering are compared.

**Антонец А.В. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ТИПОВЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В ВИДЕ РЯДОВ ФУРЬЕ.**

Даны систематизированные записи в виде рядов Фурье общих аналитических решений типовых краевых и смешанных начально-краевых задач с однородными и неоднородными граничными условиями для линейных однородных и неоднородных дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка с 2-мя независимыми переменными гиперболического, параболического и эллиптического типов.

**Antonets A.V. SYSTEMATIZING OF TYPICAL BOUNDARY TASKS SOLUTIONS FOR DIFFERENTIAL EQUATIONS OF MATHEMATICAL PHYSICS IN FORM OF FOURIER SERIES.**

Common analytical solutions in form of Fourier series are given for typical boundary and initial-boundary tasks posed for classical second order hyperbolic, parabolic and elliptic differential equations of mathematical physics with two independent variables.

**Зверев Н.В. ФЕРМИОННЫЙ ДЕТЕРМИНАНТ МОДЕЛИ НЕЙТРИНО НА КОНЕЧНОЙ РЕШЕТКЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ.**

Исследован аналитически и численно фермионный детерминант киральной  $U(1)$  модели нейтрино с контрчленом в действии на двумерной конечной решетке пространства-времени. Найдено значение коэффициента контрчлена, при котором этот детерминант в разных полях согласуется с детерминантом непрерывной теории.

**Zverev N.V. FERMION DETERMINANT OF THE NEUTRINO MODEL ON THE FINITE SPACE-TIME LATTICE.**

The fermion determinant of the chiral U(1) neutrino model on the two-dimensional finite space-time lattice with the counterterm in the action is studied both analytically and numerically. The counterterm coefficient value providing an agreement in various fields of this determinant with the determinant of the continuum theory is obtained.

**Царева Т.Н. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ-САЙТОВ.**

В данной работе описываются требования к качеству интернет-сайтов. Приводятся методы оценивания качества интернет-сайтов и указываются недостатки этих методов.

**Tsareva T.N. ANALYTIC REVIEW OF ESTIMATION METHODS OF WEB SITES' QUALITY.**

In this work requirements for web sites' quality are described. The estimation methods of web sites' quality are considered and the lacks of these methods are indicated.